

**Instituto de Ciencia Animal  
Departamento de Pastos y Forrajes  
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"**

**Comportamiento interactivo de la germinación, la dormancia, la emergencia y el crecimiento inicial como atributos biológicos para evaluar el vigor de las semillas de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth.**

**Tesis presentada en opción al grado científico de  
Doctor en Ciencias Agrícolas.**

**Marlen Navarro Boulandier, MSc.**

**La Habana, 2009**

**Instituto de Ciencia Animal**  
**Departamento de Pastos y Forrajes**  
**Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"**

Comportamiento interactivo de la germinación, la dormancia, la emergencia y el crecimiento inicial como atributos biológicos para evaluar el vigor de las semillas de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth.

**Tesis presentada en opción al grado científico de**  
**Doctor en Ciencias Agrícolas**

Aspirante: Marlen Navarro Boulandier, MSc.

Tutores: Gustavo Febles Pérez, DrC.

Verena Torres Cárdenas, DrC.

**La Habana, 2009**

*En nuestras semillas tenemos una riqueza que podemos  
transmitir a los pueblos de otras tierras que  
procuran su vida de la tierra  
y de los bosques*

*Orville L. Freeman*

Muchas son las personas a las que deseo extender mis sinceros agradecimientos, pero por cuestiones de espacio me limitaré a las que aquí se mencionan sin que el orden determine diferencia alguna de mérito.

- Al DrC. Gustavo Febles, primero por el privilegio y el reto de ser discípula del padre de las investigaciones en semillas de pastos en Cuba y segundo porque más que mi tutor lo considero un padre y un gran amigo. Gracias miles por dedicarse con paciencia y entrega a mi formación, por transmitirme sus experiencias.
- A la DrC. Verena Torres, por todo el apoyo, por incentivar mis ansias de superación y por abrirme un espacio en su mundo.
- A los técnicos Vivian Ruz y Amado Hernández, quienes con abnegación dieron seguimiento a los experimentos que conforman esta tesis; de ellos aprendí desde el primer día que me integré al Grupo de Semillas.
- A la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (EPPFIH), porque no sólo es el Centro en el que trabajo y me apoyó en desarrollar esta tesis, sino también por incidir decisivamente en mi formación profesional.
- Al Instituto de Ciencia Animal (ICA), por abrirme las puertas cálidamente y recibirme como a uno más de sus investigadores en formación. En especial al Departamento de Pastos y al de Biomatemática.
- Al DrC. Giraldo J. Martín, porque la confianza depositada en mí fue un incentivo para vencer cada obstáculo.
- A la DrC. Hilda Machado (EPPFIH) y al DrC. Rolando Hernández (UMCC), artífices de mi incorporación a la EPPFIH siendo estudiante universitaria.
- Al DrC. Tomás E. Ruiz (ICA) porque contar con la ayuda incondicional de un científico de su talla es para mí una bendición.
- A la DrC Marta Hernández (EPPFIH) por las acertadas sugerencias y señalamientos a favor del material de tesis y por su apoyo en los momentos cruciales.
- Al DrC Rafael Herrera (ICA) por las exhaustivas revisiones que realizó al documento que dio origen a la presente tesis, por todas las experiencias y enseñanzas transmitidas, por todo el apoyo en los momentos de desesperanzas.
- A la MSc Alicia Ojeda, por el minucioso trabajo en la revisión de estilos y gramática.
- A la Lic. Nayda Armengol, por su colaboración en la revisión de las referencias bibliográficas.

- A Marilyn Miguel, por ser más que una hermana, por entenderme siempre y apoyarme aun en mis mayores delirios.
- A Suylán, porque su amistad es de las mayores fortunas que atesoro.
- A Chuchy, amigo de todos los momentos.
- A Fernan, por ser un amigo que alimenta y da vida a mis ilusiones profesionales.
- A Saray, porque su ejemplo como mujer, profesional y revolucionaria fue mi fuente de inspiración para enfrentar situaciones difíciles.
- A Inés, Reyno, Julio, Carmen, Pablo, Niurka, Omar, Xiomarita, Juanita, Mercedes, Ariella, amigos a quienes debo tantísimos favores, por la invaluable ayuda de siempre.
- A mi familia, materna y paterna, por estar siempre presente, por ser tan importantes para mí.
- A Iraida porque sin su hospitalidad no hubiera podido cumplir la última y determinante etapa.
- A todos los que garantizaron la realización de mis constantes viajes a La Habana.
- A todos los que se preocuparon y ocuparon en garantizar la impresión y encuadernación de este material.
- A la vida, por regalarme una hijita que desde la primera vez que nos miramos iluminó mi existencia y cada día, con su ternura, me da fuerzas para seguir hacia adelante.
- A mi estrella que, aunque inalcanzable, está allí brillando para mí y su luz me guía, me protege y me da aliento para seguir el camino.

## *Dedicatoria*

*A Elizabeth, mi enanita reparadora de sueños*

*A mis padres, mis primeros maestros*

*A mis hermanos*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
I.1 Almacenamiento de semillas .....	6
I.1.1 Factores que influyen durante el almacenamiento.....	7
I.2 Germinación y emergencia .....	10
I.2.1 Condiciones ambientales durante la germinación y emergencia de plántulas .....	12
I.2.2 Dormancia .....	14
I.2.2.1 La dormancia física y sus métodos de ruptura.....	15
I.3 Vigor.....	19
1.3.1 Métodos y pruebas utilizadas para evaluar el vigor .....	20
I.4 La leguminosa forrajera <i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Benth.....	25
I.4.1 Usos como árbol multipropósito.....	26
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
II.1 Procedencia del material experimental.....	29
II.1.1 Condiciones edafoclimáticas del área .....	29
II.2 Procedimientos previos al almacenamiento .....	30
II.3 Condiciones de almacenamiento.....	30
CAPÍTULO III. COMPORTAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE <i>A. LEBBECK</i> DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES AMBIENTALES.....	32
III.1 Experimento 1. Efecto del tiempo de almacenaje de las semillas de <i>A. lebbbeck</i> en la capacidad germinativa.....	32
III.1.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
III.1.1.1 Diseño experimental y tratamientos .....	33
III.1.1.2 Variables estudiadas.....	33
III.1.1.3 Procedimiento experimental .....	33
III.1.1.4 Procesamiento estadístico de los resultados .....	34
III.1.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
III.1.2.1 Longevidad y deterioro.....	35

III.1.2.2 Facultad germinativa.....	36
III.1.2.3 Período e intensidad de la dormancia .....	37
III.2 Experimento 2. Efecto de los tratamientos presiembra en el comportamiento de la germinación y la viabilidad de las semillas de <i>A. lebbeck</i> almacenada al ambiente .....	39
III.2.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
III.2.1.1 Diseño experimental y tratamientos .....	39
III.2.1.2 Variables estudiadas.....	40
III.2.1.3 Procesamiento estadístico de los resultados .....	40
III.2.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
III.2.2.1 Capacidad germinativa .....	41
III.2.2.2 Emergencia de plántulas.....	44
CAPÍTULO IV. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS PRESIEMBRA Y EL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LA EMERGENCIA Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE <i>A. LEBBECK</i> EN EL VIVERO.....	50
IV.1 Experimento 3. Caracterización de la dinámica de la emergencia de plántulas de <i>A. lebbeck</i> en diferentes ambientes mediante el uso de la función Weibull.....	50
IV.1.1 MATERIALES Y MÉTODOS .....	51
IV.1.1.1 Diseño experimental y tratamientos .....	51
IV.1.1.2 Procesamiento estadístico de los resultados.....	52
VI.1.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
IV.2 Experimento 4. Estimación del vigor de las semillas a partir de determinaciones biológicas durante la prueba de emergencia.....	58
IV.2.1 MATERIALES Y MÉTODOS .....	58
IV.2.1.1 Diseño experimental y tratamientos .....	58
IV.2.1.2 Procedimientos .....	59
IV.2.1.3 Procesamiento estadístico de los resultados.....	60
IV. 2. 2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
IV.2.2.1 Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados.....	60
IV.2.2.2 Identificación del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor.....	61
IV.2.2.3 Clasificación de los tiempos de almacenamiento para cada método de escarificación presiembra.....	63
IV.2.2.3.1 Índices de eficiencia .....	63



IV.2.2.3.2 Formación de los grupos .....	67
IV.2.2.4 Definición de los grupos de vigor .....	69
IV.3 Experimento 5. Estimación del vigor de las semillas a partir de determinaciones biológicas durante el crecimiento y desarrollo de plántulas .....	75
IV.3.1 MATERIALES Y MÉTODOS .....	76
IV.3.1.1 Diseño experimental y tratamientos .....	76
IV.3.1.2 Procedimientos .....	76
IV.3.1.3 Procesamiento estadístico de los resultados .....	76
IV.3.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	76
IV.3.2.1 Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados.....	76
IV.3.2.2 Identificación del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor .....	77
IV.3.2.3 Clasificación de las evaluaciones según métodos de escarificación presiembra .....	78
IV.3.2.3.1 Índices de eficiencia .....	78
IV.3.2.3.2 Formación de los grupos .....	79
IV.3.2.4 Definición de los grupos de vigor .....	81
CAPÍTULO V. CONSIDERACIONES GENERALES .....	89
CONCLUSIONES .....	99
RECOMENDACIONES .....	100
NOVEDAD CIENTÍFICA.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

## Listado de abreviaturas

%	Porcentaje
°C	Grados <i>Celsius</i>
ACP	Análisis de Componentes Principales
Alt.	Altura
AOSA	Association of Official Seed Analyst
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CH	Contenido de humedad
cm	centímetro
CP	Componente principal
DFSC	Danida Forest Seed Centre
DP	Día pico
EA	Envejecimiento acelerado
EEPFIH	Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”
EfCP1	Eficiencia de las variables identificadas en la componente principal 1
EfCP2	Eficiencia de las variables identificadas en la componente principal 2
Emerg	Emergencia
Ener	Energía de germinación
EP	Emergencia pico
g	Gramo
Hr	Humedad relativa
IC	Intervalo de confianza
ICA	Instituto de Ciencia Animal
IE	Inicio de emergencia
ISTA	International Seed Testing Association
k	Tasa de emergencia
kg	Kilogramo
Lh	Longitud del hipocótilo
Lsr	Largo del sistema radicular
M	Porcentaje máximo de emergencia acumulada
mL	Mililitro
MO	Materia orgánica
mdia	Meses de iniciado el almacenamiento

mm	milímetros
msnm	metros sobre el nivel del mar
Ppa	Peso de la parte aérea
Psr	Peso del sistema radicular
Temp.	Temperatura
UMCC	Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
VG	Valor de germinación
Z	Retraso para el inicio de la emergencia

## **SÍNTESIS**

El presente trabajo estuvo encaminado a evaluar de manera integral el vigor de las semillas de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth., almacenadas en condiciones ambientales, combinando características de la germinación, la dormancia, la emergencia y el crecimiento de plántulas. Las características consideradas en estos procesos biológicos fueron los indicadores: inicio de emergencia, porcentaje de emergencia, día pico, emergencia pico, valor de germinación, energía de germinación y tasa de emergencia para el crecimiento. Para el desarrollo inicial los indicadores fueron: altura de la plántula, longitud del sistema radicular y longitud del hipocótilo, peso fresco del sistema radicular y peso de la parte aérea. Estos indicadores se evaluaron mediante un análisis sistémico apoyado en el modelo estadístico propuesto por Torres et al. (2007). Se desarrollaron cinco experimentos de tres años de duración cada uno. Las semillas de cada colecta se mantuvieron en almacenamiento al ambiente y se muestrearon a intervalos regulares durante un año. En algunos casos se emplearon diferentes tratamientos presiembra y ambientes de siembra para conocer el desenvolvimiento de los indicadores biológicos mencionados. Los resultados experimentales demostraron que el almacenamiento de las semillas de *A. lebbbeck* fue un método útil, a través del cual se pudo determinar la existencia de dormancia y el comportamiento de la germinación y la emergencia; el almacenaje durante un año no fue un factor que propició la pérdida apreciable de la viabilidad de las semillas; los tratamientos presiembra seleccionados y aplicados mediante la escarificación seca y húmeda, mostraron la eficacia del corte y el remojo, respectivamente, como métodos propulsores de la germinación y la emergencia; los ambientes de siembra comparados tuvieron tendencia a mostrar una relación entre la expresión del vigor y los elementos del clima; la combinación de indicadores del crecimiento y del desarrollo inicial permitió desarrollar una metodología integrada que condujo a una mayor precisión y alcance de la combinación biológico-matemática de la expresión del vigor.

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años la Agroforestería ha atraído la atención de gran número de agrónomos, ecologistas, economistas y otros especialistas que han descubierto el potencial de los sistemas agroforestales, como alternativa ecológicamente sostenible y económicamente viable en las regiones agrícolas del mundo tropical (de Haan et al. 1997). Además, dichos sistemas aparecen como una opción para la reconversión social y ambiental de la ganadería en estas zonas, donde las plantas superiores ofrecen gran diversidad biológica. Cuba se encuentra dentro de este grupo de países (Ruiz y Febles 2003). En este amplio grupo de plantas, los árboles multipropósitos muestran inmenso potencial natural, y un ejemplo de ello lo constituyen los árboles leguminosos forrajeros (Clavero 1998; Ruiz et al. 2005).

En los sistemas de producción pecuaria estas especies intervienen en el incremento de la diversidad vegetal, en la reducción de los impactos negativos en los suelos (ocasionados por la disminución de la biomasa superficial), en la mitigación de los efectos del pisoteo de los animales en el suelo y en el aumento de la complejidad estructural de la vegetación a través de dos o más estratos regulados mediante podas selectivas. De igual forma actúan en el incremento del reciclaje de nutrientes, en la reducción de los extremos de temperatura ambiental durante los períodos secos, en la disminución del impacto erosivo de la lluvia y en la regulación del ciclo hídrico local, además de que permiten la integración con otros sistemas de producción (Murgueitio et al. 2001).

Una de las especies pantropicales que forman parte de la familia Leguminosae es la leñosa perenne *Albizia lebeck* (L.) Benth., que según Sosef et al. (1998) es una planta adaptable a diversas condiciones de suelo y clima, con buen crecimiento en áreas con precipitaciones cercanas a los 300 mm anuales. Es tolerante a suelos ácidos, alcalinos, pesados y erosionados (Jøker 2000), por lo que se le considera como una de las especies arbóreas forrajeras más promisorias del trópico, especialmente en las regiones semiáridas, donde es recomendada para su inclusión en sistemas de producción animal, en los programas de conservación de los suelos y en el control de la erosión (Teketay 1996a).

Diferentes estudios en Cuba (Santana et al. 1998; Cáceres, 1998; Lamela y Simón 1998; Soca et al. 1999; Matías 2000; Rodríguez et al. 2000; Crespo y Fraga 2002; Paretas y López 2006; Iglesias et al. 2006; Toral et al. 2006; Sosa y Molina 2007; Febles y Ruiz 2008;

Galindo 2008) ratifican sus bondades como árbol multipropósito, por lo que se ha comenzado a utilizar en sistemas agroforestales para la producción animal. Sin embargo, su utilización en el entorno ganadero en el país está limitada por el desconocimiento de las potencialidades de la especie, en cuanto a la germinación que poseen sus semillas, los estados dormáticos, el vigor y la variabilidad de la emergencia de las plántulas, las cuales se manifiestan con más frecuencia cuando las siembras se realizan en las condiciones de campo (Navarro y González 2000 y 2001).

La prueba de germinación es uno de los indicadores para medir la calidad de los lotes de simientes, pues contribuye a conocer la máxima expresión del potencial de germinación. Uno de los inconvenientes, sin embargo, es que todas las plántulas normales son consideradas con el mismo potencial para producir una planta adulta en el campo, lo que es cuestionable desde el punto de vista práctico. Además, la pérdida de poder germinativo puede evidenciar un proceso de deterioro avanzado (Perry 1981). Es por esto, que en condiciones ambientales no controladas los resultados de la prueba de germinación pueden diferir considerablemente de la emergencia en el campo. En este contexto y en la búsqueda de metodologías con sensibilidad suficiente para determinar con mayor precisión el grado de deterioro de las semillas, se desarrollaron diversos procedimientos con el nombre convencional de "pruebas de vigor" (Barros et al. 2002).

La semilla es un organismo vivo y, como tal, está sujeto a procesos degenerativos graduales que culminan con su muerte. El concepto de vigor surge entonces de la necesidad de distinguir entre lotes de semillas con diferentes potenciales, capaces de producir plántulas normales, vigorosas, sanas y de establecerse en el campo en amplia gama de condiciones ambientales. A pesar de que no hay una definición de vigor universalmente aceptada, existe consenso general en el sentido de considerarlo como el factor más importante de la calidad de la semilla (Abdul-Baki y Anderson, 1972; Delouche 1976; Perry 1981 y AOSA, 1983).

Desde el punto de vista bioquímico, el vigor involucra la capacidad que tiene un organismo para la biosíntesis de energía y compuestos metabólicos tales como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos, todo ello asociado con la actividad celular, la integridad de las membranas celulares y el transporte o utilización de sustancias de reserva (AOSA 1983). Mientras que la manifestación del vigor en la germinación se manifiesta en rapidez, uniformidad e intensidad de dicho proceso, así como la tolerancia de las plántulas a las condiciones ambientales desfavorables (Anderson 1970; Perry 1972 y 1981).

Al considerar que las pruebas de vigor deben estimar la calidad de las semillas con mayor confiabilidad que la prueba de germinación, la evaluación a través de estudios integrales de

cualquiera de los factores relacionados estrechamente con el deterioro y que anteceden a la pérdida de viabilidad pueden, teóricamente, servir como pruebas para evaluar el vigor.

### **Hipótesis**

La estrategia de desarrollar opciones que aumenten la diversidad biológica mediante el empleo de especies de leguminosas arbóreas es acertada. Sin embargo, los elementos contenidos en la calidad de la semilla gámica, como la germinación, la dormancia, la viabilidad, la emergencia y el vigor, no han sido estudiadas de manera integral en la mayoría de estas plantas tropicales. De ahí que una investigación más profunda en esta dirección podría incorporar a *Albizia lebbbeck* a la ciencia aplicada contemporánea y de esta forma ser empleada con fines productivos en la ganadería tropical.

Para la materialización de esta hipótesis se elaboró una estrategia de investigación que se llevó a cabo a través de un objetivo general y un grupo de objetivos específicos. Estas consideraciones se exponen a continuación.

#### Estrategia general de la tesis.

Para evaluar algunos aspectos de la calidad de las semillas de *A. lebbbeck* es necesario conocer el comportamiento de éstas, lo cual se realizará mediante el análisis de los indicadores germinación, viabilidad, dormancia y envejecimiento. Dichas determinaciones se llevarán a cabo en la cabina de germinación con condiciones estandarizadas de luz, temperatura y humedad según refiere ISTA (1999) para las semillas de leguminosas tropicales.

Se escogió el almacenamiento en condiciones ambientales no controladas, puesto que son éstos los que prevalecen en los almacenes convencionales con que cuentan las fincas y bancos de semillas que hoy existen en Cuba y en otras regiones tropicales. Por las mismas razones, se almacenarán las semillas en sacos de nailon tejido y el periodo de almacenaje será de un año debido a la producción abundante de semillas que manifiesta ésta especie y que nos permite en cada cosecha introducir material fresco al almacén para después proceder a las siembras cuando sea necesario.

Del experimento anterior se podría deducir que las semillas de *A. lebbbeck* presentan dormancia. Por ello, se decide pasar a evaluar seis tratamientos presiembrado y conocer así su efecto en la germinación y la emergencia y por ende en la ruptura de dormancia. Los tratamientos seleccionados son: ácido 96% 15', agua 80°C 3', remojo en agua a temperatura ambiente durante 24 horas, pinchazo, corte de cubierta y un control.

Una vez determinadas las características descritas en el párrafo anterior, se pasará a definir la condición ambiental más idónea para la siembra. Entre las condiciones a evaluar están: vivero a

pleno sol, vivero con sombreador (40%) y la cabina de germinación constituyendo éste tratamiento el testigo. Para determinar cual de ellas es donde mejor se expresa el vigor de la semilla se utilizarán tres de los parámetros contenidos en la ecuación de Weibull modificada, ellos son: retraso para la emergencia, tasa de emergencia y emergencia acumulada máxima. El análisis integrado de los tres parámetros nos conduciría a conocer la mejor condición para la siembra y a la vez nos ofrecerá en cuales tiempos de almacenaje de la semilla se expresa el vigor más alto.

En busca del conocimiento del vigor de las semillas, que como se conoce guarda una estrecha relación con la calidad, se propone su evaluación mediante una propuesta metodológica que ofrece una visión nueva, amplia científica e integral desde el punto de vista biológico del vigor. Para lo cual se emplearán los mismos tratamientos presiembra del experimento anterior y a su vez se integrarán siete variables que, según un estudio de la bibliografía especializada del tema, tienen incidencia en el vigor. Las metodologías hasta ahora existentes involucran por separado a cada una de estas variables a través de la realización de costosas pruebas biológicas que serán mencionadas en la Revisión Bibliográfica.

Las variables relacionadas con el vigor se evaluaron en cada tratamiento pre-siembra a diferentes tiempos de almacenamiento comenzando por las recién cosechados hasta las de 12 mdia. Con toda esta información y en busca de la estimación del vigor se utilizará el modelo multivariado de Torres et al. (2007) a través del cual se determinarán las variables que mejor tipifican el vigor en cada tratamiento presiembra, así como la eficiencia de éstas para cada período de almacenaje, para luego formar grupos con características similares de las variables en cada grupo se obtendrán las evaluaciones por tratamiento presiembra en la que las semillas expresan el vigor más alto.

Lo anterior constituirá una propuesta metodológica para estimar el vigor durante la prueba de emergencia de plántulas. Una segunda fase podría ser el análisis durante el crecimiento hasta los 30 días posteriores a la siembra, para lo cual se seguirá la misma secuencia experimental, pero las variables a medir, en éste caso serán cinco: altura, largo del hipocótilo, largo del sistema radicular, peso de la parte aérea y peso del sistema radicular.

Por tal motivo se definieron los siguientes objetivos de trabajo:

### **Objetivo general**

Evaluar de manera integral el vigor de las semillas de *Albizia lebbbeck*, almacenadas en condiciones ambientales, combinando características de la germinación, la dormancia, la emergencia y el crecimiento de plántulas.



**Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto del almacenamiento de las semillas de *A. lebeck*, en condiciones ambientales no controladas, en los indicadores viabilidad y germinación y para conocer características de la dormancia en esta especie.
- Evaluar la emergencia de plántulas posteriormente a la aplicación de diferentes métodos de escarificación para provocar la ruptura de la dormancia de las semillas de *A. lebeck* almacenadas en condiciones ambientales.
- Emplear la función Weibull para conocer la dinámica de la emergencia de plántulas cuando la siembra se realiza en tres condiciones ambientales y a diferentes tiempos de almacenaje de la semilla.
- Desarrollar una metodología integrada de indicadores del desarrollo y el crecimiento de plántulas para medir el vigor de las semillas de *A. lebeck*, mediante el empleo y adecuación de métodos multivariados e índices de eficiencia que posibiliten interpretar más acertadamente y con mayor precisión los resultados experimentales.

## **CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **I.1 Almacenamiento de semillas**

El hombre se interesó por el almacenamiento de semillas desde que comenzó a domesticar plantas hace 10 000 años. Los antiguos agricultores almacenaban semillas para su utilización en la siembra del siguiente año o como reserva de alimento. Sin embargo, no es hasta mediados del siglo XX que se inició de forma sistemática el almacenamiento de simientes con fines científicos o de conservación (Iriondo 2001).

El período de almacenamiento está a menudo limitado por el tiempo en que una semilla en particular sobrevivirá en las condiciones de almacenamiento disponibles. Para mantener la viabilidad por períodos prolongados, es importante que el ambiente de almacenamiento reúna las condiciones óptimas para cada especie (Hong y Ellis 1996).

De acuerdo con las reglas de Harrington (1972), existe relación exponencial entre la longevidad de las semillas, la temperatura y el contenido de humedad de almacenamiento, de manera que la longevidad de una semilla se duplica por cada reducción de 5°C en la temperatura y por cada reducción de 1% en el contenido de humedad. Al seguir este modelo, Iriondo (2001) afirmó que probablemente las simientes conservadas a muy bajas temperaturas y con muy bajos contenidos de humedad se deben mantener viables durante milenios, lo cual está en dependencia de la categoría de las semillas y de la consistencia del endospermo.

Se reconocen tres categorías principales para el comportamiento de las simientes durante el almacenamiento: ortodoxas, recalcitrantes e intermedias. Roberts (1973) definió las dos primeras mientras; que Ellis et al. (1990) identificaron la tercera. Estas categorías tienen vigencia actual cuando se precisa conocer la tolerancia de las semillas a condiciones adversas de su desarrollo y su posterior desempeño durante el almacenamiento.

El estado de desarrollo de las semillas en la cosecha desempeña un importante papel en la longevidad del almacenamiento poscosecha (Sanhewe y Ellis 1996; McDonald 2005 y 2006) que depende de la especie y de los factores externos, los que serán explicados por separado en el siguiente subepígrafe.

No obstante, la información antes descrita evidencia la importancia y el alcance del almacenamiento de semillas.

### **I.1.1 Factores que influyen durante el almacenamiento**

El período en que las semillas se mantienen viables en el almacén (longevidad) está determinado por factores genéticos, fisiológicos, ambientales y por la interacción entre ellos.

#### 1) Factores genéticos

Las especies y algunos géneros muestran normalmente en el almacenaje un comportamiento ligado a la herencia, el cual puede ser tanto ortodoxo como recalcitrante (Roberts 1973)

La influencia genética en el potencial de almacenamiento está directamente relacionada con el envejecimiento progresivo o ser indirecta, sujeta a diferentes factores de susceptibilidad, los cuales pueden conducir a la pérdida de la viabilidad. Por ejemplo, la variación hereditaria en la morfología de la cubierta de la semilla puede causar variación en la susceptibilidad a los daños físicos durante el procesamiento, lo cual a su vez influye en la capacidad de almacenamiento (Hilhorst y Bradford 2000).

#### 2) Factores del desarrollo

Las semillas inmaduras generalmente tienen viabilidad más corta en el almacenaje que aquellas que alcanzaron la madurez completa. Sin embargo, las simientes colectadas tempranamente pueden ser capaces de alcanzar la madurez completa si se les propician tratamientos de posmaduración (Thomsen y Stubsgaard 1998).

La causa de la reducción en el potencial de almacenamiento puede estar relacionada con fallos de complejidad inherentes a los eventos que se suceden en los estadios de maduración tardía. Ejemplo de esto es el desarrollo embrionario incompleto, la protección inadecuada a la desecación o la formación inadecuada de proteínas u otros compuestos químicos almacenados innecesariamente (Vertucci et al. 1996).

#### 3) Factores ambientales

Para propósitos prácticos, los factores ambientales pueden ser agrupados en aquellos que actúan antes o durante el almacenamiento; el deterioro prealmacenamiento es de importancia capital para la longevidad de la semilla, debido a su influencia en la viabilidad inicial. En condiciones óptimas de almacenamiento sólo se puede mantener la viabilidad, nunca mejorarla (Hilhorst y Bradford 2000). El deterioro de las semillas se puede iniciar justamente en el campo y está influido por la manipulación desde la cosecha y el transporte hasta el momento de comenzar el almacenamiento; cualquier daño, por pequeño que parezca, durante el procesamiento puede influir adversamente en el potencial de almacenamiento.

La pérdida de la viabilidad durante el almacenamiento puede estar causada, al mismo tiempo, por ataques de insectos u hongos que destruyen la integridad física o por el deterioro natural de

las semillas (envejecimiento). La temperatura y la humedad son los factores más importantes que contribuyen a mantener la viabilidad en el almacenamiento. Las semillas no dormantes pueden germinar en el almacén si su contenido de humedad (CH) se encuentra por encima de 30%. Además, el rápido deterioro por microorganismos puede ocurrir si el CH está entre 18 y 30%. Mientras que el proceso de envejecimiento se acrecienta en las semillas con CH por encima de 18-20% debido a que respiran y metabolizan activamente (Sacandé 2000).

#### 4) Factores relacionados con la viabilidad inicial

Los lotes de semillas con alta viabilidad inicial también tienen mayor longevidad en el almacenamiento que aquellas con bajos porcentajes de este indicador; el progresivo envejecimiento natural con la pérdida resultante en la viabilidad no es lineal en el tiempo, sino que normalmente sigue el patrón sigmoideo. La pérdida de la viabilidad es inicialmente lenta, seguida por un período de rápido declive; cuanto mayor sea la viabilidad del lote de semilla en el momento de iniciar el almacenamiento, mayor será el mantenimiento de esta en un ambiente determinado (Bruggink et al. 1999).

Por otro lado, se designa el envejecimiento, generalmente, como el proceso que experimentan las semillas cuando están almacenadas en condiciones por debajo de las óptimas y da lugar a variedad de síntomas, que de acuerdo con Black et al. (2006) incluyen: i) viabilidad reducida, lo cual conduce a una pobre o esporádica germinación; ii) reducción del vigor de las semillas, incluye crecimiento anormal de las plántulas; y iii) pérdida completa de la capacidad germinativa.

El envejecimiento define los cambios en la calidad de la semilla, los cuales ocurren desde el momento en que es cosechada hasta que el 'producto' germinado emerge del suelo (Walters 1998; McDonald 2005).

Las causas del envejecimiento pueden ser agrupadas en factores extrínsecos, los cuales son elementos externos influyentes en la viabilidad, y factores intrínsecos, referidas a que el envejecimiento es el resultado de eventos dentro de la propia semilla. Un resumen de ambos factores se puede observar en el anexo 1, el cual brinda una concepción más amplia y relacionada de aquellos factores considerados esenciales en los procesos de deterioro de las semillas.

El proceso mediante el cual las semillas almacenadas mueren ha recibido considerable atención en la literatura y dos excelentes revisiones describen las aberraciones celulares y fisiológicas que son tanto la causa como la consecuencia del envejecimiento (Priestley 1986; Smith y Berjak 1995). Investigaciones más recientes (Walters 1998 y 2004; McDonald 2006) demostraron que determinadas enzimas críticas se inactivan con el tiempo y varios estudios

sugieren también que las proteínas, en general, son susceptibles a la degradación, aunque no debido a los cambios en la estructura secundaria. Se están acumulando evidencias también de que las membranas celulares son un sitio de daño durante el envejecimiento debido a la degradación de los lípidos y que algunas regiones de la célula parecen ser más susceptibles al deterioro que otras. Durante la última década del siglo XX y hasta la actualidad, los esfuerzos fundamentales se centraron en el estudio de la genética molecular vinculada a las causas, factores y consecuencias del envejecimiento de las semillas (McGrath 2003; Nonogaki et al. 2003; Martin et al. 2006; Bradford 2007).

La actividad metabólica requiere de agua disponible; como las semillas ortodoxas se secan durante la madurez y más tarde durante el procesamiento, el agua libre disponible se pierde. La poca agua que queda en las semillas se limita a las macromoléculas, es decir, queda inmóvil y no se incorpora a las reacciones químicas. Aun cuando el contenido de humedad haya declinado por debajo de la cantidad donde cesa la actividad metabólica, tanto la temperatura como el contenido de humedad continúan influyendo en la longevidad de la semilla a través de los procesos de envejecimiento. La respiración cesa cuando el contenido de humedad disminuye por debajo de 18-20% (Bewley y Black 1994).

La calidad de las semillas es máxima en el momento de la maduración, a partir de ese instante comienzan a ocurrir procesos degenerativos (Delouche 2005). Esas alteraciones, que pueden ser de naturaleza física, fisiológica o bioquímica, caracterizan el deterioro y una de las consecuencias finales es la pérdida de la capacidad germinativa. (Mingues et al. 2000; McDonald 2006). Es de destacar que el deterioro comienza inmediatamente después de la madurez, pero sólo influye en la viabilidad cuando pasa a un estadio avanzado, debido a que las semillas son capaces de reparar el daño sólo cuando éste no compromete la actividad metabólica en su conjunto. Los daños mínimos pueden ser reversibles o manifestados si las semillas germinan en condiciones subóptimas (Delouche 2002).

El contenido de humedad y la temperatura son los dos principales factores determinantes del ritmo de envejecimiento; además, la presión de oxígeno y la luz pueden tener alguna influencia en ciertas circunstancias y su relación es como se describe a continuación:

a) Temperatura

Cuando las temperaturas son bajas el deterioro tiende a ser menor en el tiempo (Hong y Ellis 1996).

b) Contenido de humedad

El mayor deterioro bioquímico y citológico tiende a manifestarse cuando el contenido de humedad es elevado. Las temperaturas bajas son menos dañinas en las semillas ortodoxas con

bajo contenido de humedad; pero si éste se encuentra por encima de 6-8%, las semillas están propensas a daños fatales por la formación de hielo cuando son expuestas a temperaturas por debajo de 0°C (Egli y Tekrony 1997).

c) Presión de oxígeno

La desnaturalización de los constituyentes de la célula (membranas, enzimas, ADN) sólo ocurre en condiciones aeróbicas (Harada 1997); en este sentido, las altas y bajas presiones de oxígeno estimularán o deprimirán este proceso degenerativo. El almacenamiento a bajas presiones de oxígeno (al vacío o en dióxido de carbono) a temperaturas en que los insectos, los hongos y los microorganismos son activos, previene su desarrollo.

d) Luz

Las radiaciones ionizantes se mencionan como un factor influyente en el envejecimiento de las semillas en la naturaleza. Sin embargo, para las ortodoxas secas existen pocas evidencias de que las condiciones de luz desempeñan un papel en su longevidad. Para las especies con fotodormancia (donde la luz es imprescindible para el proceso germinativo) el almacenamiento a oscuras puede prevenir la germinación, incluso en semillas con altos contenidos de humedad (Vázquez-Yanez y Orozco-Segovia 1996).

Los elementos vinculados con el almacenamiento y la longevidad, tratados hasta aquí, están íntimamente relacionados, y tienen su expresión en el comportamiento biológico de la germinación y la emergencia de plántulas.

Por otro lado, estos factores pueden estar muy influidos por los procesos de latencia o dormancia que constituyen una defensa de las plantas ante factores ambientales de diferente naturaleza. Al no poder asumir una posición contemplativa y naturalista en este sentido, es importante incursionar en las formas y métodos que se requieren para atenuar o romper ese proceso biológico de la dormancia. Estos enfoques serán abordados en los epígrafes que se tratan a continuación.

## **I.2 Germinación y emergencia**

La germinación se define como aquellos eventos que se inician con la captación de agua por la semilla y finalizan con la elongación de los ejes embrionarios y la penetración de la radícula por las estructuras que rodean al embrión (Bewley 1997). Según Besnier (1965) la aparición de la radícula a través de las cubiertas seminales es el primer indicio visible de la germinación. Esta marca la transición desde un estado dependiente de la fuente de nutrimentos (planta madre) hacia un germen independiente, capaz de tomar las sustancias minerales y crecer por sí solo; por ello la germinación conforma el eslabón final del proceso de manipulación de la semilla.

Mientras que la mayoría de las semillas son resistentes a condiciones ambientales adversas, los brotes recién germinados y las plántulas jóvenes son frecuentemente muy vulnerables. Una vez que la germinación ha comenzado, el estrés por agua, luz y temperatura puede ser fatal; por ello se requieren las mejores condiciones posibles durante el proceso germinativo y el establecimiento (Baskin y Baskin 1998; Baskin et al. 2006a).

Las condiciones de germinación, así como los rangos de tolerancia en los cuales las semillas germinan, varían con la especie y están relacionados con el ambiente en el cual la planta normalmente crece (Nonogaki 2006). Las especies templadas de alta altitud pueden germinar con temperaturas de solo unos pocos grados Celsius; mientras que la mayoría de las especies tropicales de tierras bajas requieren temperaturas de 20°C o más para su germinación (Bradford 2006).

Según Bewley y Black (1994), el clásico curso trifásico de la imbibición de las semillas refleja la rápida absorción inicial del agua por éstas cuando están secas (fase 1), seguido por un período de elongación asociado a la actividad enzimática y al incremento de las tasas de respiración y asimilación, lo cual se manifiesta en la utilización del alimento almacenado y su transportación a las zonas en crecimiento (fase 2), hasta ocurrir sucesivas divisiones celulares que traen como consecuencia la aparición de la radícula y la plúmula (fase 3).

Puesto que el embrión debe crecer para que ocurra la emergencia, se requiere turgencia y de la extensión de la pared celular para la realización exitosa de la germinación; además, en muchas semillas los embriones están rodeados por tejidos que deben ser penetrados por la radícula. Una vez que la semilla se embebió totalmente, la longitud de la fase 2 de la germinación se relaciona, probablemente, con la generación adicional de turgencia del embrión y su paso a través de la pared celular, o con el debilitamiento de los tejidos que se encuentran adjuntos a este (Welbaum et al. 1998).

En la germinación epigea se hace visible un tallito alargado y luego ocurre el rápido alargamiento del hipocótilo, que trae como consecuencia la emergencia de los cotiledones y la plúmula. Una vez emergidos los cotiledones, se comienza a alargar la plúmula que hasta ese momento se desarrolló poco; de este alargamiento surge el futuro tallo.

La emergencia de plántulas es, el evento fenológico que más influye en el éxito de una plantación; representa el momento en el cual una plántula se hace independiente de las reservas seminales no renovables, originalmente producidas por sus progenitores, y cuando comienza el autotrofismo fotosintético, el tiempo de emergencia muchas veces determina si una planta compite exitosamente con sus vecinos, si es consumida por los herbívoros, infestada por las enfermedades y si florece, se reproduce y madura al final de su etapa de crecimiento

(Forcella et al. 2000). No obstante, los factores ambientales durante estos eventos no pueden obviarse.

En condiciones de campo, la emergencia de plántulas está determinada por múltiples y complejas interacciones entre las condiciones ambientales, el suelo y las características intrínsecas de la semilla y de la plántula (Wang 2005).

### **I.2.1 Condiciones ambientales durante la germinación y emergencia de plántulas**

Las semillas germinantes son vulnerables, especialmente durante las últimas fases de la germinación; debido a que la imbibición es un proceso físico, estas pueden imbibirse y deshidratarse sin daños. Cuando las semillas entran en la segunda y la tercera fase con cambios estructurales, así como elongación y división celular, el proceso de germinación se convierte en irreversible. Una vez que ha iniciado, debe ser completado. La tolerancia a las condiciones ambientales difiere entre especies y algunos de los factores del medio interactúan durante la germinación (Carvalho y Nakagawa 2000).

Johnston et al. (1997) y Nonagaki (2006) señalaron que todas las semillas poseen sensores que detectan los cambios ambientales y así aseguran la germinación en condiciones favorables. Es por ello que Harper (1977) aseveró que las condiciones ambientales que rodean directamente la semilla determinan el éxito de la germinación y, por consecuencia, el éxito de la emergencia de plántulas y el establecimiento.

Dentro de los factores abióticos que intervienen directamente en el proceso germinativo se encuentran la luz, la temperatura y el agua; éstos a su vez tienen marcada connotación en la inducción de la dormancia, ya sea primaria o secundaria (Hilhorst y Bradford 2000; Bradford 2005; Bradford et al. 2006), e independientemente de las causas que la provocan. Estos factores se abordarán sucintamente a continuación:

#### Luz

Como todo proceso biológico vinculado a la luz, su regulación está determinada por el pigmento fotorreceptor denominado fitocromo, constituido por una proteína soluble en agua, con forma activa para la germinación -Pfr- de arreglo circular, cuando la luz que incide es roja, y otra forma inactiva -Pr- de arreglo lineal en presencia de luz roja lejana (Smith y Kendrick 1976 y Loch et al. 2004).

Côme (1970) clasificó las semillas según el tipo de respuesta a la luz en: a) fotoblásticas positivas, que no germinan en la oscuridad; b) fotoblásticas negativas, cuya germinación se inhibe por la luz blanca; y c) fotoblásticas indiferentes, las que llevan a cabo su germinación en cualquier condición de iluminación. Hasta la actualidad dicha clasificación no se ha modificado.



La respuesta fotoblástica de las semillas no sólo está determinada por la calidad de la luz que incide en ellas, sino por el umbral de Pfr que contengan y por la última longitud de onda que reciban y su duración (Orozco-Segovia y Vázquez-Yanes 1992). Sin embargo, estas respuestas se pueden modificar debido al envejecimiento (Loch et al. 2000), que se manifiesta por la disminución en la relación entre la longitud de onda roja -R- y el rojo lejano -RL- de la luz blanca requerida para germinar, o por el incremento de la germinación en la oscuridad (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1987).

Ofrecer a las semillas las condiciones apropiadas de luz durante la germinación, garantiza que puedan expresar en mayor cuantía el potencial genético de la especie.

#### Temperatura

Las semillas adaptadas a responder a determinadas condiciones de temperatura presentan mecanismos enzimáticos reguladores de la germinación que se disparan sólo cuando ocurren cambios térmicos en el ambiente que las rodea (Baskin y Baskin 1998). Dichas variaciones diarias no sólo les permiten “reconocer” la época óptima de germinación, sino también “detectar” la profundidad a que se encuentran y llevar a cabo exitosamente la germinación (Fenner 1985; Cover et al. 1986; Fenner y Thompson 2005).

La temperatura es un factor crítico durante la germinación, que influye especialmente en la velocidad de germinación; además, la capacidad germinativa puede sufrir gravemente a causa de condiciones inapropiadas de temperatura (Benech-Arnold et al. 2004; Leon et al. 2004; Gonçalves et al. 2006). También desempeña un papel esencial en la emergencia de plántulas (Angus et al. 1981; Guretzky et al. 2004).

En general, se plantea que existe un fuerte sinergismo entre la luz y la temperatura (Bewley y Black 1994), de gran importancia ecológica para la detección de condiciones favorables de germinación. Autores como Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia (1984) afirmaron que la dormancia de las semillas en algunas especies de árboles tropicales es capaz de romperse como consecuencia de la sensibilidad (aparente) a los cambios de luz; mientras que en otras influyen los cambios o alternancias de temperatura.

La alternancia de temperatura puede proporcionar mejores condiciones de germinación (Ellis y Barrett 1994) para semillas de algunas especies tropicales, como constataron Gomes y Bruno (1992) para *Bixa orellana* (L.) y Castellani y Aguiar (1998) para *Trema micrantha* (L.).

#### Agua

La absorción de agua por las semillas es esencial para el comienzo de la germinación y define cada una de las etapas del patrón trifásico de absorción de agua que caracteriza el proceso germinativo (Bewley 1997). El papel de este factor como detonador y modulador de los

procesos bioquímico-fisiológicos de la germinación fue planteado por Nikolaeva y Antípova (1986) en semillas de *Vicia faba* var. minor.

El análisis del papel del agua y la humedad ambiental en el desencadenamiento de la germinación en semillas de árboles es complejo y requiere del estudio combinado de factores bióticos y abióticos para llegar a interpretaciones ecológicas adecuadas (Schmidt 2000).

Existen antecedentes de interacción entre la temperatura y el agua disponible, ya que la temperatura influye en la viscosidad y energía cinética del agua, e incide, por lo tanto, en la tasa de imbibición de las semillas (Egley y Duke 1987).

Además de los factores ambientales expresados en los párrafos anteriores, no se puede obviar la dormancia como factor trascendental en la Naturaleza.

### **I.2.2 Dormancia**

El término 'semilla dormante' se refiere al estado en el cual las semillas intactas no germinan cuando se les brindan las condiciones que normalmente favorecen al proceso germinativo (Cohn 2006) y éstas pueden ser: humedad adecuada (agua), régimen apropiado de temperaturas, una atmósfera normal (oxígeno) y en algunos casos la luz (Hilhorst y Toorop 1997).

La dormancia es una característica dependiente de la especie y el genotipo; además, los factores ambientales pueden tener efectos significativos en la expresión fenotípica de la germinación y se conoce que estos interactúan con el genotipo (Foley y Fennimore 1998; Geneve 2003; Dias 2005).

Según Li y Foley (1997) y Baskin y Baskin (2005), la presencia de dormancia en las semillas actúa como modulador de la regeneración de las especies vegetales, además de convertirse durante la evolución de las plantas en una estrategia para evitar la germinación en las condiciones donde es probable que la supervivencia de la plántula sea baja.

Se señala que las semillas recién cosechadas que manifiestan poseer dormancia, se encuentran en un estado de dormancia primaria; según Bewley (1997), la presencia de tal estado se encuentra determinada por la incapacidad para germinar, causada por: 1) la dureza de la corteza seminal y 2) los procesos de inactividad residentes dentro del propio embrión. De acuerdo con Hilhorst et al. (1996), a menudo puede ocurrir la inducción hacia estados de dormancia secundaria, principalmente en las semillas maduras que se sitúan en condiciones desventajosas para la germinación (Hartmann et al. 1997; Allen y Meyer 2002).

Diversos esquemas para la clasificación de la dormancia se publicaron internacionalmente. Los más notables son los de Harper (1957, 1977), Nikolaeva (1969, 1977, 2001), Nikolaeva et al.

(1985), Nikolaeva et al. (1999), Lang et al. (1985), Lang (1987) y Lang et al. (1987). No obstante, es meritorio señalar que Baskin y Baskin (2004) luego de revisar exhaustivamente todas las clasificaciones existentes, consideran que un comprensible sistema de clasificación para la dormancia basado en el esquema inicial de Nikolaeva (1969) y de sus otras modificaciones (Nikolaeva 1977; Nikolaeva 2001; Nikolaeva et al. 1985; Nikolaeva et al. 1999), es esencial en estudios de la ecología, la biogeografía y de la evolución de la dormancia (Baskin y Baskin, 1998; Nikolaeva et al. 1999).

### **I.2.2.1 La dormancia física y sus métodos de ruptura**

La dormancia física es causada por una densa capa de células empalizadas, impregnadas con sustancias repelentes al agua, las cuales inhiben la imbibición (Baskin y Baskin, 1998) y ofrecen alta resistencia física para el crecimiento del embrión (Allen y Meyer 1998; Alves et al. 2004). Esto ocurre en aproximadamente 15 familias de plantas superiores que incluyen a Leguminosae (Morrison et al. 1998; Baskin et al. 2000; Turner et al. 2005) y de acuerdo con Kigel (1995) y Baskin y Baskin (1998) es la forma más común de dormancia en árboles y arbustos de regiones tropicales, entre los que se destacan según Willan (2000) los géneros *Acacia*, *Prosopis*, *Ceratonia*, *Robinia*, *Albizia* y *Cassia*.

Este tipo de dormancia y su eliminación o atenuación en condiciones naturales ha sido poco explicada, especialmente en regiones tropicales (Baskin y Baskin 1998; Morrison et al. 1998; Foley 2001; Baskin et al. 2006b), si se comparan con semillas que poseen dormancia fisiológica, como las de regiones mediterráneas y templadas, donde están relativamente bien estudiados los mecanismos subyacentes de la dormancia (Handley y Davy 2005).

#### Características morfoestructurales de las cortezas seminales en Leguminosae

En la estructura de la corteza seminal de las leguminosas (anexo 2) se pueden observar cuatro elementos bien diferenciados: 1) la cutícula, capa más externa que tiene carácter repelente al agua y apariencia cerosa; 2) una capa macroesclereidal o empalizada, la cual consiste en células verticales largas, estrechas y herméticamente condensadas; 3) osteoclereidal, capas de células más ligeramente condensadas; y 4) una capa de parénquima, constituida a su vez por una capa de células poco diferenciadas (Schmidt, 2000).

La impermeabilidad se puede deber a las dos capas exteriores, puesto que se ha demostrado que una vez que estas son penetradas a través de los tratamientos pregerminativos, las semillas absorben el agua con rapidez. El grosor de la corteza seminal y el grosor relativo de las capas individuales, varían con la especie (Lang 1996); algunas especies de *Cassia* tienen espesas cutículas, mientras que la capa empalizada es relativamente fina. Sin embargo, la

relación entre las características morfoestructurales y el pretratamiento germinativo no está bien documentada (Schmidt, 2000). Para que la corteza seminal se convierta en permeable la capa empalizada debe ser penetrada, al menos, a una profundidad similar al 25% de su grosor total.

Por otra parte, la estructura de la cubierta de la semilla es uniforme, excepto en algunas zonas como la región hilar, sitio donde se une el funículo y que contiene el micrópilo, el hilo y el estrofiolo; las células de esta región tienen estructura corchosa, sin cutícula. A lo largo de la corteza seminal se encuentra el pleurograma, línea en forma de herradura, por lo general verde, que en las semillas de Acacia y Albizia es ligeramente diferente; la región hilar, y en un grado menor el pleurograma, son puntos débiles de la cubierta seminal y a la vez son los más tendientes a convertirse en permeables durante los pretratamientos (Kannan et al. 1996).

La escarificación es una técnica elemental para romper la dormancia de las semillas duras (van Klinken et al. 2006) de leguminosas arbóreas, como por ejemplo: Acacia, Leucaena y Albizia, que son un componente importante de los bosques tropicales. Las cortezas seminales duras constituyen el medio para proteger las semillas contra ataques fúngicos y también de insectos, en condiciones de altas temperaturas y humedad (Leadem 1997).

Según Hilhorst y Bradford (2000) el pretratamiento con agua caliente se considera de influencia en la permeabilidad de los estrofiolos. Sin embargo, cualquier parte de la cubierta seminal se puede convertir en un punto más débil donde el agua, finalmente, penetra.

Como las semillas pierden agua durante el proceso de maduración, las células del parénquima en empalizada se convierten en una capa mucho más herméticamente condensada, por lo que la cubierta seminal es más impermeable (Schmidt 2000).

Dentro de cualquier especie la dormancia puede variar desde muy superficial hasta muy profunda entre los diferentes lotes y entre semillas individuales dentro del lote. Un ejemplo lo constituyen las semillas recién colectadas de *Albizia gummifera* de la procedencia Kakamega, que según Schmidt (1988) germinaron rápidamente en el bosque húmedo, lo cual indica que en estas condiciones no exhibieron la dormancia física fuerte propia de la especie.

Se conoce que el grado de dormancia física difiere entre las especies, el estado de madurez y el grado de desecación, por lo que es aconsejable que la elección del pretratamiento se ajusta apropiadamente a cada especie (Taylor 2003a). De acuerdo con CATIE (2000a), la destrucción de la impermeabilidad en un punto único de la cubierta seminal es suficiente para permitir la imbibición e intercambio de gases.

El contenido de humedad (CH) de las semillas se relaciona con la dormancia física, por lo que las simientes jóvenes tienden a mostrar menos dormancia que las semillas viejas. La impermeabilidad completa en *Leguminosae* se desarrolla con un CH entre 12 y 14%. Sin

embargo, la dormancia continúa manifestándose aún con contenidos de humedad menores (Poulsen et al. 1998).

El corte o la eliminación de una pequeña porción de la corteza en el extremo opuesto al embrión, con un instrumento filoso, puede ser eficaz cuando se realiza con cuidado, ya que la semilla manipulada manualmente permite realizar el corte individual de acuerdo con el espesor de la cubierta seminal; el uso de este método es frecuente, ya que virtualmente todas las semillas se pueden convertir en permeables y el riesgo de sobretratamiento (daño) es pequeño, dado que se evita manipular en las cercanías de la región radicular (Poulsen y Stubsggard 2000). No obstante, se requieren estudios para industrializar este procedimiento a gran escala.

En las semillas de árboles leguminosos las células de la capa empalizada extraen agua; el proceso de reblandecimiento, luego de un delicado corte, pasa del lugar inicial de la imbibición a la cubierta seminal completa en pocas horas, una vez que se sitúa en un sustrato humedecido (Schmidt, 2000).

En ensayos con ocho especies de *Acacia* spp., en Australia y Tailandia, el corte de cubierta fue uno de los mejores tratamientos, con una germinación que sobrepasó el 90% (30 días) en un estudio donde los testigos sólo alcanzaron valores de 10%. Con este método también se reportaron altos valores de germinación en experimentos con dos especies de corteza dura endémicas de Kenya, *Acacia xanthophloea* y *Trachylobium verrucosum*; mientras que en Zimbawe ésta fue casi tan buena como el tratamiento con ácido en *Acacia albida*, nuevamente con más de 90% de germinación (Schmidt 1988; Masamba 1994).

Un tratamiento apropiado para una semilla de testa gruesa puede ser excesivo para una de testa delgada, penetrando así el delicado embrión y destruyéndolo (Poulsen y Stubsggaard, 2000).

Aunque se han probado varios líquidos como un medio para romper la dormancia por cubierta dura, sólo dos han sido ampliamente adaptados: el agua y el ácido.

El ácido utilizado para los pretratamientos es el sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), que causa algún tipo de combustión húmeda en la corteza seminal y es igualmente efectivo en leguminosas y en no leguminosas; sin embargo, el método no es aplicable a las semillas que fácilmente se convierten en permeables, debido a que el ácido penetra y daña el embrión. La duración de este pretratamiento debe tener como objetivo el alcance de un balance en el cual la corteza de la semilla (o pericarpio) sea suficientemente rota para permitir la imbibición, pero sin que el  $H_2SO_4$  alcance al embrión (Teketay 1996b).

El agua caliente elimina la dormancia física en Leguminosae mediante el incremento de la presión, lo cual causa la ruptura de la capa macroscleroidal, o a través de la alteración del

tapón estrofiolar. El método es más efectivo cuando las semillas se sumergen en agua caliente, o sea, no calentadas junto al agua, y cuando la inmersión es rápida, ya que evita los daños por calor en el embrión (Kannan et al. 1996).

En ocasiones el remojo en agua a temperatura ambiente incrementa la velocidad de germinación en semillas sin dormancia o con ligeros valores de ésta; también se utiliza conjuntamente con un tratamiento más fuerte o seguido de éste (CATIE 2000a). En ambos casos el efecto parece ser la imbibición más rápida a partir del agua que rodea la semilla, si se compara con la que se puede lograr en una cápsula Petri con un sustrato humedecido (prueba estándar de germinación).

Schmidt (2000) planteó que donde la dormancia física es relativamente débil, como en las semillas frescas de leguminosas, el remojo en agua a temperatura ambiente es muchas veces suficiente para permitir la permeabilidad de la corteza seminal; mientras que el efecto de este mismo tratamiento en semillas duras varía con la especie. Esto indica que en algunas especies las semillas se convierten en permeables y en otras existe un pobre efecto del remojo continuo.

Soto Pinto (1996), al estudiar diferentes métodos de escarificación para las simientes de *Cassia tormentosa* y *C. xiphoidea*, encontró que el remojo en agua a temperatura ambiente y a 60°C para las dos especies, así como los tratamientos a altas temperaturas (90°C y ebullición) para *C. tormentosa*, mostraron bajos porcentajes de germinación; de esto se deduce que la aplicación de un único tratamiento de esta naturaleza es ineficaz cuando se pretende romper la dormancia física fuerte de una semilla, lo cual fue informado por CATIE (2000b).

Un estudio de ruptura de dormancia en semillas de *A. lebeck* realizado por González y Hernández (2000), mostró que durante el almacenamiento en condiciones ambientales todos los tratamientos aplicados produjeron incrementos significativos de la germinación en relación con el control; los valores superiores se obtuvieron con el corte de cubierta (96,8%) y con el ácido sulfúrico durante 40 minutos (98,0%), ambos en la evaluación correspondiente a cero mes.

Según Nikolaeva (1977) y Nikolaeva y Antipova (1986) la aplicación de temperaturas extremas, tanto altas como bajas, permite la germinación en semillas que presentan dormancia exógena. El incremento de este factor puede ablandar las capas de la cubierta de las semillas, lo que permite la entrada de agua. Su modo de acción se relaciona con la cinética enzimática, de forma tal que determinadas variaciones de la temperatura propician el desarrollo de mecanismos enzimáticos que se activan sólo ante determinadas fluctuaciones de este factor, asegurando así la germinación. Además, es conocido que en géneros de *Caesalpinaceae* y *Mimosaceae* el estrofiolo entra en erupción como respuesta a los cambios súbitos de

temperatura, y que a mayor temperatura más rápido ocurre el ritmo de ruptura (McDonald 2000).

A partir de un valor de temperatura se inicia la ruptura de la dormancia hasta obtener el máximo porcentaje de germinación; las temperaturas elevadas provocan efectos letales en las semillas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia 1996; Kettenring y Galatowitsch 2007).

Por otra parte, la temperatura del sustrato influye significativamente en la tasa de germinación y dicho efecto se magnifica en aquellas semillas que recibieron previamente un tratamiento de escarificación; los reportes de Hernández et al. (1996) ejemplifican este comportamiento en *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz.

Debido a que la temperatura de la superficie del suelo en las regiones tropicales puede tener fluctuación diurna de 20-60°C en primavera y de 30-70°C en el verano, muchas especies de leguminosas arbustivas poseen la habilidad de superar los tenores de dormancia de sus simientes en estos períodos. Los estudios realizados por McDonald (2000) demostraron que para eliminar la dureza de la testa, *Stylosanthes spp.* requiere de temperaturas superficiales del suelo por encima de 50°C y que en semillas de *Leucaena leucocephala* vc. Cunningham plantadas en surcos, la ruptura rápida de las cortezas seminales a altas temperaturas se puede afectar cuando se coloca una capa de suelo gruesa sobre éstas.

Todos los elementos tratados en los epígrafes I.1 y I.2 influyen e intervienen en la calidad de las semillas. Sin embargo, pueden tener mayor conceptualización científica y, por ende, mayor trascendencia práctica si se valoran de manera sistémica y no como elementos aislados.

### **I.3 Vigor**

Aunque la Asociación Internacional de Análisis de Semilla (ISTA) publica los métodos de germinación estandarizados para muchas especies agrícolas, ornamentales y forestales, no consideran a la mayoría de los árboles tropicales; es por ello que desarrollar metodologías de estimación del vigor para estas plantas facilitarían su propagación, aumentando al máximo la emergencia de las plántulas (Esau 2000). La metodología apropiada para cada especie depende de la biología de la semilla (Bradford y Cohn 1998).

El concepto calidad de la semilla, además de estar relacionado con la respuesta germinativa, también implica aspectos genéticos y fisiológicos (Taylor 2003b), por lo que la prueba de germinación no es suficiente para expresar el grado de calidad de las simientes. Por otra parte, Marcos Filho (1998) planteó que este último examen tiene como limitante la incapacidad para detectar las diferencias en calidad entre los lotes de semillas con altos porcentajes de germinación; los análisis del vigor muestran mayor sensibilidad para encontrar tales diferencias.

La evolución del examen de vigor en las semillas es un proceso lento, arduo y todavía incompleto, pues resultó difícil llegar a un acuerdo sobre la definición de vigor de la semilla y qué exámenes son adecuados para cada especie (Marcos Filho 1999). Sin embargo, los esfuerzos por resolver estas cuestiones se reflejaron por la AOSA (AOSA 1983) y por una publicación similar de la ISTA (Perry 1981), que luego se revisó y actualizó por Hampton y Tekrony (1995); ambas publicaciones ofrecen su propio concepto de vigor:

- i. aquellas propiedades de las semillas, las cuales determinan la rápida y uniforme emergencia para el desarrollo de plántulas normales en un amplio rango de condiciones de campo o de vivero (AOSA, 1983).
- ii. la suma de las propiedades que determinan el nivel potencial de actividad y comportamiento de la semilla o del lote durante la germinación y emergencia de las plántulas; las simientes de mejor comportamiento son denominadas de alto vigor (Hampton y Tekrony 1995).

La detección del deterioro de las semillas a través de las pruebas de vigor puede ser entendida como un componente importante en la evaluación de la calidad fisiológica y, de acuerdo con Tekrony (2003), contribuyen a la solución de problemas de la industria semillera, tales como el almacenamiento.

### **1.3.1 Métodos y pruebas utilizadas para evaluar el vigor**

Los efectos del vigor pueden persistir e influir en el crecimiento de la planta adulta, en la uniformidad de la cosecha y en el rendimiento de la especie, por lo que se utilizan varios métodos para caracterizar el vigor de las semillas (Geneve 2004); las pruebas evaluadas para semillas de árboles se agrupan en cuatro tipos:

#### **a) Pruebas de crecimiento de plántulas**

Esta prueba de vigor implica la germinación en condiciones estándares controladas (Pollock y Roos 1972; Perry 1984; Peretti 1994) e incluye mediciones del tamaño de las plántulas y el peso, o la clasificación de plántulas en clases de vigor (Krzyzanowski et al. 1999). Resulta oportuno señalar que existen pocos trabajos de investigación con este tipo de prueba en semillas de árboles.

#### **b) Pruebas de estrés**

La evaluación del vigor mediante pruebas de estrés requiere que las muestras de semillas germinen en condiciones estresantes o en la prueba estándar de germinación seguida de un tratamiento separado de estrés (Bonner 1998).



### Envejecimiento acelerado

Una de las pruebas más utilizadas para la evaluación del vigor es el de envejecimiento acelerado (EA), que se basa en el aumento del deterioro de las semillas cuando se exponen a condiciones adversas de alta temperatura y alta humedad relativa (Ferguson 1995). En dichas condiciones, las semillas de baja calidad se deterioran más rápidamente que aquellas más vigorosas, de modo que esto brinda la posibilidad de establecer diferencias entre las muestras evaluadas.

Esta prueba se indica para determinar el potencial de almacenamiento de las semillas y el potencial de emergencia de plántulas en el campo; a la vez que se destaca por presentar alto grado de estandarización y reproducibilidad, tanto en términos de metodología de ejecución como en la interpretación de los resultados (Delouche 1976; AOSA 1983; Krzyzanowski y Miranda 1990).

Marcos Filho et al. (2001) aseguran que la única prueba de estrés que se realiza extensivamente entre las semillas de árboles es la de EA. No obstante, su uso se limita a especies que poseen semillas grandes y se ha estudiado menos en especies de semillas pequeñas (Barros et al. 2002).

Las diferencias entre la germinación antes y después del envejecimiento proporcionan la medida relativa del vigor de la semilla, pero las simples diferencias de porcentaje carecen de la precisión requerida para una prueba cuantitativamente real (Marcos Filho 1999).

Por esta razón, Wang et al. (1992) propusieron el uso del índice de envejecimiento (IE), que se define como la diferencia entre el porcentaje inicial de germinación y el porcentaje de germinación después del envejecimiento, dividido entre la germinación inicial. La necesidad de control preciso del ambiente y los procedimientos, hacen que la prueba de EA pueda parecer más difícil de lo que en realidad es (Hampton y Tekrony 1995).

La mayoría de los estudios de EA con semillas arbóreas se concentran en las temperaturas óptimas y la duración del examen en horas para efectuar el envejecimiento, lo que se informa para un número grande de especies (Thapliyal y Connor 1997).

Bonner (1998), en su revisión acerca de las pruebas de vigor, concluyó que los resultados de estudios bioquímicos en las semillas arbóreas durante los tratamientos de envejecimiento, confirman que la utilización rápida de las reservas de energía durante el tiempo de la prueba de EA está acompañada por la declinación de la germinación y el vigor. Esto apoya el concepto de que las semillas agrícolas y los árboles reaccionan de manera similar cuando se les somete a las condiciones de EA.

### Deterioro controlado

Para la evaluación del vigor también se puede emplear la prueba de deterioro controlado (Powell y Matthews 1984). Según Krzyzanowski et al. (1999) esta es una técnica de envejecimiento similar en su fundamento al EA e incorpora un mejor control del grado de humedad de las semillas y de la temperatura durante el período de envejecimiento.

En el EA las semillas ganan humedad durante el período inicial de la prueba debido a la elevada temperatura y diferentes grados de humedad, lo que trae como resultado diferentes grados de envejecimiento durante el mismo período de tiempo (Matthews 1980).

### Prueba de frío

Es una prueba que se fundamenta en el principio de que semillas de menor vigor germinan lentamente en temperatura subóptima, es decir, temperaturas bajas, particularmente en el inicio de la imbibición, pues se estimulan efectos negativos para la germinación, la emergencia y el crecimiento de plántulas (Dias y Alvarenga 1999).

Su principal ventaja es ser un método de estrés que no requiere equipamiento adicional, aun cuando es una prueba de simple ejecución. Hasta la actualidad no se encuentran reportes de esta prueba para evaluar el vigor de las semillas de árboles y arbustos tropicales y subtropicales.

### c) Pruebas bioquímicas

#### Ensayo Topográfico con Tetrazolium

La prueba bioquímica más conocida para evaluar el vigor es el Ensayo Topográfico con Tetrazolium (TZ) y se usa frecuentemente como una prueba rápida para estimar la viabilidad de semillas en árboles (Yu y Wang 1996).

El supuesto teórico en que se basa fue enunciado por Harrington (1972), al asumir que la viabilidad máxima está asociada al valor máximo de vigor y que ambos se relacionan estrechamente con el punto máximo de madurez fisiológica (TeKrony y Egli 1997; Muasya et al. 2002). Se conoce que a menudo la pérdida de la viabilidad está acompañada por las pérdidas en: la capacidad de respiración, los ácidos grasos no saturados y los lípidos en la membrana, así como las reducciones en la carga de energía de adenilato, la actividad enzimática y el contenido de ARN mensajero (Smith y Berjak 1995). No obstante, se propone en una escala limitada como una prueba de vigor en algunas especies arbóreas del trópico (Bonner 1998).

#### Electroforesis de proteínas

El principal desafío de las pesquisas sobre pruebas de vigor está en la identificación de indicadores relacionados con el deterioro de las semillas, que preceden a la pérdida de la capacidad germinativa. Dentro de esta idea se destaca la técnica de la electroforesis de

proteínas, que puede posibilitar la detección de los estadios iniciales del deterioro, a través de la actividad de las enzimas asociadas con la degradación y oxidación de sustancias de reserva, así como con la biosíntesis de nuevas sustancias (Mingues et al. 2000).

Priestley (1986) asoció la pérdida de algunas formas de isoenzimas, tales como peroxidasa, fosfatasa ácida, dehidrogenasa, esterasa y aminopeptidasa, con el envejecimiento severo de las semillas en un grupo de especies.

Chauhan et al. (1985), al estudiar la variación electroforética de proteínas y enzimas de soja y cebada en relación con la calidad de las semillas, observaron que las bandas de proteínas y enzimas (esterasas, fosfatasas y transaminasas) funcionan como marcas moleculares en la evaluación de la calidad. También Vieira (1996) encontró como indicadores promisorios del estado de deterioro de semillas de algodón, las variaciones electroforéticas de proteínas y de las enzimas glutamato deshidrogenasa, malato deshidrogenasa, fosfatasa ácida, enzima mállica, peroxidasa y 6- fosfogluconato.

Los perfiles electroforéticos de proteínas muestran gran número de polipéptidos posibles de ser analizados, posibilitando la identificación de grupos característicos y sus alteraciones con el envejecimiento y los eventos fisiológicos. La electroforesis, a través de la detección de alteraciones en la composición proteica y de enzimas específicas, puede ser una herramienta eficiente para el acompañamiento de la calidad de las semillas durante el almacenamiento (Carraro 1990).

#### d) Variables numéricas basadas en resultados de pruebas de germinación y emergencia

Se conoce desde hace tiempo que la tasa de germinación se relaciona positivamente con la rápida emergencia en el campo y con el desarrollo de las plántulas de muchas especies, las que incluyen las simientes de árboles. El método más utilizado para las semillas arbóreas fue desarrollado por Czabator (1962), quien propuso combinar la tasa de germinación y la integridad de la germinación en un solo índice numérico al que llamó valor de germinación (VG); este se determina mediante el cálculo del valor pico (VP), que consiste en el valor máximo de semillas germinadas en un mismo día y la germinación media diaria (GMD), el cual se calcula al dividir la germinación diaria entre el número de días desde el inicio de la prueba. Numerosos estudios han evaluado VG y VP como indicadores del vigor en las semillas de arbóreas (Poulsen et al. 1998).

Djavanshir y Pourbeik (1976) y Thomson y El-Kassaby (1993) propusieron otras interpretaciones de la tasa de germinación, pero según Bonner (1998) estos procedimientos no han sido ampliamente probados, aunque no hay razón para creer que no tendrán éxito.

### Función Weibull modificada

La función de Weibull (Weibull 1951) fue propuesta por Brown y Mayer (1988), luego de analizar un conjunto de funciones no lineales, lineales ajustadas y logísticas, como un modelo de procesamiento de datos para comparaciones de vigor basadas en la frecuencia de la germinación acumulada. Anteriormente, Scott et al. (1984) concluyeron que los parámetros contenidos en ella definen parcialmente las principales características del proceso germinativo y de la emergencia. A partir del estudio realizado por Brown y Mayer (1988) a la función de Weibull, en el ámbito semillero se le comenzó a designar como Weibull modificada.

Esta función no lineal se utiliza, con regularidad, para describir la dinámica de la germinación a partir del efecto (en este indicador y en la emergencia de plántulas) de: a) las temperaturas, b) los períodos de estratificación, c) los tratamientos pregerminativos, d) las características seminales, e) las diferentes especies, cultivares e híbridos, de manera optativa a través del análisis de sus parámetros (Rink et al. 1979; Tanaka 1994; Huang y Yang 1995; Hernández y Paoloni 1998; Cerabolini et al. 2004).

### Velocidad de germinación

El primer conteo de la prueba de germinación se puede utilizar como una prueba de vigor, una vez que la velocidad de germinación está relacionada con la evolución del deterioro de la semilla. Así mismo, las muestras que presentan mayores valores de germinación en el primer conteo se pueden considerar más vigorosas. Se trata de una prueba simple y de fácil ejecución, pero que generalmente presenta baja sensibilidad, al no detectar pequeñas diferencias de vigor entre los lotes (Barros et al. 2002).

El porcentaje germinativo sólo contempla el porcentaje de las semillas que germinan durante el período de la prueba, sin tener en cuenta si la germinación ocurrió durante la primera o la última parte del examen. Sin embargo, en condiciones de campo (vivero) la germinación rápida es obviamente una ventaja para el establecimiento de las plántulas; por lo tanto, la velocidad de germinación es una expresión del vigor y se conoce que las semillas de alto vigor germinan más rápido que las de bajo vigor en cualquier condición (van de Venter 2000).

La velocidad germinativa, denominada 'energía de germinación', puede ser expresada de varias formas a partir de los registros de germinación diaria (Schmidt 2000):

- Como el porcentaje de semillas analizadas que germinan dentro de un período determinado (que se denomina período de energía).
- Como el porcentaje de las semillas de una muestra que germinan hasta llegar al momento de germinación máxima.
- Como el número de días requerido para alcanzar el porcentaje de germinación final.

- Como el promedio de la velocidad de germinación en el período total de la prueba.

Como se puede apreciar esta revisión bibliográfica está enfocada al estado del arte, de acuerdo con la literatura disponible, de aquellos elementos que forman parte esencial de la hipótesis, el objetivo general y los específicos de la tesis. Igualmente, se intentó integrar estos atributos para estimar, definir y evaluar el comportamiento de las semillas de una especie de importancia, desde etapas iniciales del crecimiento hasta una parte del desarrollo, que pueden contribuir al éxito de la plantación de un sistema agroforestal.

#### **I.4 La leguminosa forrajera *Albizia lebbbeck* (L.) Benth.**

*Albizia lebbbeck* (L.) Benth. es una especie leñosa perenne del género *Albizia* Durazz. que se ubica dentro de la familia *Leguminosae*, subfamilia *Mimosoideae* (Lowry et al. 1994). El género *Albizia* ha sido descrito por Nielsen (1992) y comprende unas 150 especies que predominan en el pantrópico (Joker 2000); en la flora de Cuba aparece representado por sólo dos especies: *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. y *A. cubana* Britton & Wilson, esta última endémica (Bässler 1998).

Es una especie nativa del sudeste asiático y el norte de Australia, áreas con una marcada estación seca e influidas por el monzón, respectivamente. Según Sosef et al. (1998) se adapta a diversas condiciones de suelo y clima. En Cuba fue introducida y naturalizada en la vegetación secundaria de montes semicaducifolios (Betancourt 2000) y se encuentra sembrada en lugares ruderales (Bässler 1998).

*A. lebbbeck* también se conoce por diferentes basónimos o sinónimos, estos son: *Mimosa lebbbeck* L., *Acacia lebbbeck* (L.) Willd., *Feuilleea lebbbeck* (L.) Kuntze., *Acacia speciosa* (Jacq.) Willd. y *Mimosa sirissa* Roxb. (Barneby y Grimes 1996; Bässler 1998).

A esta especie se le atribuye una amplia variedad de nombres vernáculos, los cuales varían en dependencia de la región geográfica donde se encuentre (Betancourt 2000); en Cuba se le conoce como algarrobo de olor, músico, aroma francesa, faurestina, florestina y cabellos de ángel (Baró y Ventosa 1999).

Aunque en febrero se produce la desecación masiva de las legumbres, éstas permanecen un período suficientemente amplio en la planta, el cual facilita la recolección manual, que debe comenzar con el cambio de coloración del verde al pardo claro, o sea, al desaparecer las últimas manchas verdes.

Según Jøker (2000) las plantas comienzan su floración y fructificación cuando tienen altura de 1,5-3,0 m e incrementan sus rendimientos con la adultez, llegando a producir entre 30 y 40 kg de legumbres secas, cada una de las cuales aloja transversalmente entre 6 y 12 semillas. Este mismo autor señaló que en 1 kg pueden encontrarse de 7 000 a 12 000 simientes.

Matías (2000), al estudiar el efecto combinado de la densidad de plantas por hectárea y la frecuencia de poda, concluyó que con 16 m<sup>2</sup>/planta (833 plantas/ha) como marco de siembra y la poda cada 2 años se obtienen altos rendimientos de semilla.

#### **I.4.1 Usos como árbol multipropósito**

El cultivo de especies de árboles multipropósitos está ganando aceptación popular debido a los muchos usos que se derivan de estas plantas, por lo que la propagación uniforme, eficaz y eficiente potencia al máximo sus beneficios. La semilla es el material de propagación más barato y práctico empleado para estas especies.

Crece en una amplia gama de regímenes de lluvia que puede variar entre 600 y 2 500 mm anuales, e incluso muestra buen crecimiento en zonas con precipitaciones cercanas a los 300 mm. En sentido general, se puede establecer en áreas con irregularidad en la frecuencia de lluvia (Toky et al. 1996).

Es un árbol fijador de nitrógeno que se desarrolla en altitudes que pueden variar desde 0 hasta 1 800 msnm, con temperatura anual media de 20-35°C, y en suelos francos bien drenados, pero pobres en arcillas pesadas. Es tolerante a la acidez, la alcalinidad, la sequía, a los suelos erosionados y pesados y a los terrenos anegados (Jøker 2000).

La dispersión de las semillas suele ocurrir, principalmente, debido a la acción del viento fuerte, y se pueden trasladar hasta centenares de metros de distancia. Además se plantea que algunas simientes logran atravesar el tracto intestinal del ganado (Lowry et al. 1994).

Es una especie fotoperiódica de días cortos y las primeras flores aparecen en los meses de abril y mayo. Sin embargo, no se aprecian frutos hasta la floración del inicio de la época seca (noviembre-diciembre) y produce una sola cosecha de semillas, comprendida entre los meses de febrero y abril en dependencia de la región (Hechavarría et al. 2000).

Según el comportamiento de las semillas durante el almacenamiento, *A. lebeck* es una especie ortodoxa y la viabilidad se mantiene por algunos años en cámaras frías con bajo contenido de humedad y en envases herméticos (Jøker, 2000).

Puede ser establecida mediante: i) la siembra directa en el campo; ii) usando bolsas con sustrato para la estimulación del crecimiento; o iii) como plántulas de raíz desnuda. Cuando se siembra directamente en el campo es necesario la limpieza de las malezas. Para reducir el período de establecimiento en campo las plántulas pueden permanecer en el vivero y luego ser trasplantadas; se ha demostrado que a los 3-4 meses después de la siembra en el vivero (bolsas) es el momento idóneo para el transplante al campo (Burrows y Prinse 1992).

Los conejos mostraron un crecimiento adecuado cuando se alimentaron con hojas de albizia, incluidas hasta 50% en la dieta (Lowry et al. 1992).

Los ovinos tuvieron un alto consumo voluntario de las hojas caídas. Schlink et al. (1991) demostraron que todas las fracciones ofrecidas como suplemento produjeron incremento en el consumo de materia seca digestible, en dietas basales de baja calidad.

Las hojas, las flores y las vainas caen secuencialmente durante la época seca, por lo que se pueden utilizar por los animales en pastoreo; por tanto, se puede afirmar que existe un valor suplementario directo de la albizia en sistemas de pastoreo extensivo (Kaitho et al. 1997).

Por sus características la albizia también se puede usar en sistemas Taungya, donde se combinan árboles con cultivos temporales en los primeros años de establecimiento (Schlönvoigt 1998).

Uno de los aspectos más interesantes de *A. lebbbeck* en el papel multipropósito es que, además de suministrar alimento directamente, contribuye a incrementar la productividad y calidad de la dieta (Lowry et al. 1994).

Estudios realizados en Australia mostraron que la calidad del pasto bajo los árboles se mantuvo 2 meses después del inicio de la época seca (Wild et al. 1993). La causa de este efecto pudiera estar relacionada con el mejoramiento de la humedad en la superficie del suelo sombreado, lo cual incrementa la descomposición de la hojarasca y la mineralización de la materia orgánica (Larby et al. 1996); ello parece indicar que el árbol proporciona una solución biológica al problema de la disminución de la calidad del pasto en la estación seca. No obstante, en los sistemas agroforestales no se pueden obviar otros efectos como la temperatura, la radiación solar que llega al suelo y la especie de pasto que crece bajo su dosel (Ruiz y Febles 2003).

De acuerdo con los resultados de Soca et al. (1999), el heno de esta especie arbórea presenta apreciable potencial alimenticio para los rumiantes en el área tropical; mientras que Lamela y Simón (1998) sugieren que la harina de legumbres en proporciones entre 50 y 85% ofrece perspectivas como suplemento para las vacas en ordeño.

Cáceres (1998), al determinar el valor nutritivo del follaje de *A. lebbbeck*, encontró valores de proteína bruta de 25,0 y 23,5%, con digestibilidad de 76,4 y 79,4%; la digestibilidad de la materia orgánica fue de 61,2 y 61,7%, el contenido de energía metabolizable de 8,91 y 9,00 MJ/kg de MS y el consumo de materia seca de 58,7 y 47,0 g/kg PV<sup>0,75</sup> para lluvia y seca, respectivamente. Estos resultados indican que el follaje de esta leguminosa arbórea presenta un potencial alimenticio apreciable para los rumiantes en el trópico. Además, otros estudios exponen lo ventajosa que resulta la utilización de dicho follaje en mezcla con forraje de king grass, al elevar el valor nutritivo de la ración (Santana et al. 1998).

Crespo y Fraga (2002) determinaron que entre los componentes de la hojarasca acumulada por *A. lebeck*, la mayor contribución la hacen las vainas, que además contribuyen en mayor medida al retorno de nutrientes, principalmente de N, en el sistema. Diversos autores informaron el elevado valor de la concentración de N en las vainas de esta planta.

La leña que produce *A. lebeck* es densa y el valor calorífico de la madera secada al aire es de 5 200 kcal/kg (Bhat 1997); la madera es relativamente dura pero fácilmente trabajable; se usa para muebles, en construcciones interiores y postes. También es valorada para el establecimiento de cortinas rompevientos y como árbol melífero, gracias a la producción tanto de néctar como de polen; además, su profundo sistema radicular la convierte en una buena opción para la conservación del suelo y el control de la erosión (Jøker, 2000).



## CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

La mayoría de los materiales y métodos expresados en esta tesis están incluidos en cada experimento, para facilitar la interpretación de los resultados y la discusión en cada caso. Lo que a continuación se describe son aquellos que pueden ayudar a la aclaración de algunos aspectos de la metodología experimental de cada investigación.

Para el procesamiento estadístico de los resultados se emplearon análisis univariados y multivariados, según el experimento; pero se valoró discutirlos en cada experimento, por su complejidad en algunos casos.

### II.1 Procedencia del material experimental

Los árboles madres pertenecen a una plantación de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. que se encuentra en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, provincia de Matanzas, Cuba; situada en el punto geográfico determinado por los 22°48’7” de latitud Norte y 81°2’ de longitud Oeste y a 19 msnm.

#### II.1.1 Condiciones edafoclimáticas del área

El suelo del lugar está clasificado como Ferralítico Rojo lixiviado (Hernández et al. 1999), que se caracteriza por ser de textura arcillosa, profundo, de topografía llana, de buen drenaje externo e interno. Las determinaciones en laboratorio se realizaron según Paneque et al. (2002). Las características químicas no son limitantes para el crecimiento de la especie *A. lebbbeck* y las más sobresalientes se informan en la tabla 1.

Tabla 1. Características del suelo en el área.

Profundidad (cm)	pH	M.O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g)	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>++</sup> (cmol/kg)	Mg <sup>++</sup>
0-10	5-8	4,53	23,0	4,50	11,7	2,3
10-20	5-8	3,86	41,0	12,50	11,5	2,0
20-30	6	3,64	19,0	9,00	12,0	2,0
Método		Wakley Black	Oniani		Complexometría	

El clima de la zona está clasificado como de sabana tropical, característico de Cuba, con marcada estacionalidad de las lluvias; la época invernal poco lluviosa se extiende desde noviembre hasta abril (Academia de Ciencias de Cuba, 1989) y según Hechavarría et al. (2000) en este período se encuentra enmarcada la fase fenológica de fructificación en la especie *A. lebbeck*.

## II.2 Procedimientos previos al almacenamiento

Durante tres años consecutivos se colectaron semillas, a finales de febrero, en una plantación de *A. lebbeck* de 5 984 m<sup>2</sup>. Se tomaron al azar 150 árboles como muestra para la colecta. Posterior a la colecta se procedió al desgrane y secado, durante 48 horas de sol, de las legumbres y las semillas, respectivamente; el secado permitió que el contenido de humedad (CH) de las simientes oscilara entre 10 y 12% en el momento de iniciar el almacenamiento en condiciones ambientales, según recomiendan Chai et al. (1998)

Para la determinación del CH se utilizó el método gravimétrico en estufa caliente ( $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ), según lo recomendado por ISTA (1999); el cálculo se realizó sobre la base del peso fresco y para la toma de muestras de semillas se siguieron las recomendaciones de Poulsen (2000), que contribuyen a la homogenización morfológica de la semilla del lote.

## II.3 Condiciones de almacenamiento

Las semillas estaban almacenadas al ambiente en sacos de nailon tejido, en un local lo suficientemente aireado, semejante a los almacenes convencionales que se emplean en las empresas, fincas y bancos de semillas en Cuba, los cuales fueron descritos por Yañez y Funes (1989) y Funes et al. (1998). Los contenedores se colocaron en estibas, separados entre sí, así como del techo, las paredes y el suelo del local.

Se registraron las variables temperatura media y humedad relativa media desde el momento en que las semillas fueron colocadas en el almacén hasta el final de la etapa de almacenamiento; dicho período fue de 12 meses en los tres años de colecta.

Los datos climáticos prevalecientes en el almacén se ofrecen en la figura 1. Para valorar el comportamiento de las variables climáticas en los tres años experimentales se empleó un intervalo de 10 años, dentro de los cuales estaban incluidos los tres de los experimentos. A esta información se le realizó un análisis conocido como determinación del intervalo de confianza (IC), en este caso para el 95% de probabilidad. Los datos reflejan que el comportamiento de la temperatura media y la humedad relativa media durante los años de la investigación estaban incluidos dentro del IC.

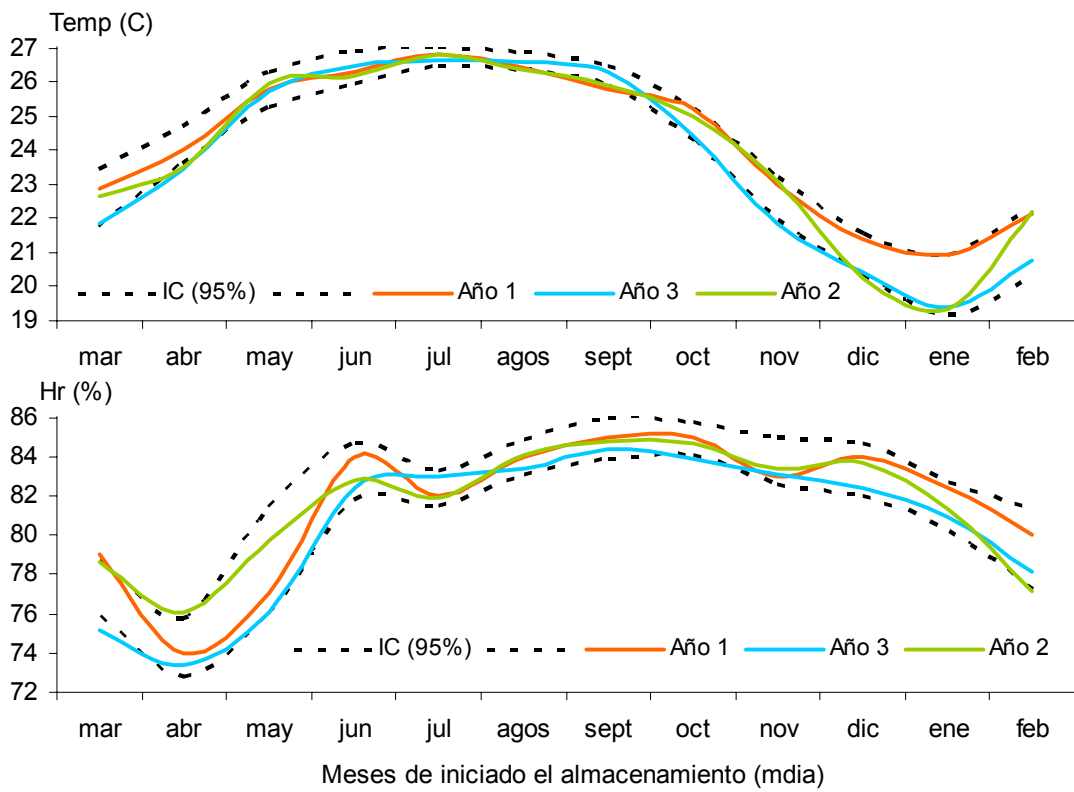


Figura 1. Comportamiento de la temperatura media y la humedad relativa media durante el tiempo de almacenamiento en cada período experimental [IC (95%): intervalo de confianza al 95%]

### **CAPÍTULO III. COMPORTAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE *A. LEBBECK* DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES AMBIENTALES**

Uno de los puntos de partida en las investigaciones relacionadas con el comportamiento de las semillas es el estudio de la conservación de la viabilidad a través del almacenamiento, con vistas a determinar si este procedimiento puede influir en la detección de la dormancia en especies de leguminosas arbóreas en un tiempo relativamente breve, así como conocer algunas características de este proceso y además la viabilidad y la germinación.

El conocimiento de las condiciones que proporcionan una germinación rápida y uniforme en el campo, donde estarán expuestas a las condiciones adversas del ambiente, es extremadamente útil para fines de siembra (Pacheco et al. 2006).

Es por ello que Forcella et al. (2000) consideran la emergencia de plántulas como el evento fenológico que, probablemente, más influye en el éxito de una plantación. No obstante, algunos fenómenos de la naturaleza, como la dormancia, pueden definir su manifestación.

Las investigaciones realizadas durante el último siglo identificaron algunos procedimientos en estado líquido como medios para reducir o eliminar la dormancia física de las semillas. De ellos, el agua y el ácido sulfúrico fueron los más utilizados con esta finalidad (Bethke et al. 2006).

Existen otros métodos, como colocar las semillas en agua a temperatura ambiente por períodos de hasta 24 horas, que pueden activar enzimas y debilitar la dureza de las cubiertas (Smith et al. 2003; van Klinken et al. 2006). El agua a temperaturas cercanas al punto de ebullición es otro método eficaz (Kannah et al. 1996; Hilhorst y Bradford, 2000; González y Navarro 2001).

Además, la agresión a la integridad física de las simientes a través de cortes en las cubiertas constituye otro método presiembra, a pesar de ser trabajoso y delicado (Fariñas et al. 1997; Sanabria et al. 1997; Sanabria et al. 2001).

#### **III.1 Experimento 1. Efecto del tiempo de almacenaje de las semillas de *A. lebeck* en la capacidad germinativa.**

**Objetivo:** Evaluar el efecto del almacenamiento de las semillas de *A. lebeck*, en condiciones ambientales no controladas, en los indicadores viabilidad y germinación, y conocer las características de la dormancia.

### III.1.1 MATERIALES Y MÉTODOS

#### III.1.1.1 Diseño experimental y tratamientos

Se estudió la presencia de la dormancia a través de las variables germinación y viabilidad de semillas de *A. lebeck* a intervalos regulares (evaluaciones) durante 11 meses de permanencia en un almacén convencional, cuyas características se aprecian en el Capítulo II. Tanto para la germinación como para la viabilidad se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (3 x 6), en el que los factores estuvieron determinados por los años de estudio (3) y los tiempos de almacenamiento (6).

Las evaluaciones se realizaron a 0, 2, 5, 7, 9 y 11 meses de iniciado el almacenamiento (mdia). En cada uno se emplearon cuatro repeticiones de 100 semillas cada una de acuerdo con lo normado por ISTA (1999). Los años indicaron las tres cosechas sucesivas que dieron origen a cada período de almacenamiento. Las semillas recién cosechadas se corresponden con el inicio del almacenamiento (0 mdia).

#### III.1.1.2 Variables estudiadas

*Semillas viables*: Semillas vivas, con capacidad para la germinación en condiciones no limitantes de temperatura, agua, oxígeno y luz (Besnier 1965).

*Semillas germinadas*: Se interpretó la germinación como la capacidad de las estructuras fundamentales del embrión de iniciar el crecimiento, en términos visuales, como el momento de la emergencia de la radícula del embrión (Côme 1970).

*Semillas duras*: Semillas viables que no germinaron al finalizar el examen estándar de germinación en cada evaluación, debido a la impermeabilidad de las cubiertas (ISTA 1999).

*Semillas dormantes*: Semillas viables que no son capaces de germinar por algún impedimento dormático presente en ellas (semillas duras), por lo que se sometieron al finalizar la prueba de germinación a la remoción de las cubiertas seminales, que consistió en el corte de la testa con un escalpelo. El resultado se ofreció a los siete días de iniciada la prueba en la cabina (Sánchez et al. 1996) y se denominó como porcentaje de semillas dormantes.

#### III.1.1.3 Procedimiento experimental

Para hacer una estimación rápida de la viabilidad de las semillas se empleó el ensayo topográfico de tetrazolium (TZ). Para esta prueba se utilizó una solución acuosa de cloruro de 2,3,5-triphenyl tetrazolium (pH 6,5-7,5) al 1,0% de concentración. Se tomaron muestras al azar de una fracción de semillas de *A. lebeck* y se establecieron cuatro réplicas de 100 simientes cada una, las cuales se colocaron a embeber, previa remoción de las cubiertas seminales, en la

solución acuosa anteriormente mencionada. Para la evaluación de la viabilidad, el cálculo y la expresión de los resultados se tomaron en consideración las reglas internacionales que rigen el trabajo en esta prueba bioquímica para leguminosas arbóreas (AOSA 2005), basada en la coloración o no de las estructuras del embrión. Los resultados se expresaron en porcentaje de semillas viables.

En el montaje de la prueba de germinación se emplearon cápsulas Petri con 184 g de arena de río (lavada y desinfectada) como sustrato inerte y en el momento de la siembra se aplicaron 48 mL de agua destilada (a temperatura ambiente), medida que se ajustó al valor de la capacidad de saturación de la arena. En cada evaluación las cápsulas se mantuvieron en la cabina, en condiciones aproximadamente controladas de luz (12 horas), temperatura (25°C) y humedad (85% Hr) durante 21 días, lo que coincide con lo normado por el ISTA (1999) para las semillas de árboles y arbustos tropicales. No obstante, resulta oportuno aclarar que para esta especie no hay especificaciones.

Es necesario aclarar que en cada evaluación la posición de las cápsulas Petri se cambió cada tres días, con el fin de disminuir los errores experimentales (Murillo 1998; Yang et al. 1999) y que la evaluación realizada a 0 mdia representa el inicio del período de almacenamiento.

#### **III.1.1.4 Procesamiento estadístico de los resultados**

Se realizaron análisis de varianza según modelo de clasificación simple en arreglo factorial (3 x 6) para la variables germinación y viabilidad. Los datos se transformaron según  $\text{Arcsen}\sqrt{(\% + 0,375)}$ ; se utilizó la dócima de comparación múltiple de Duncan (1955) y las diferencias fueron declaradas significativas a valores de  $p < 0,05$ . El procesamiento estadístico se llevó a cabo mediante la utilización del programa InfoStat. versión 1.0 (Rienzo et al. 2001).

#### **III.1.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Antes de comenzar a discutir los resultados particulares de este experimento, se desea aclarar por qué cada período de almacenamiento duró solamente 11 meses. Primeramente, y desde el punto de visto práctico, esta planta produce abundantes semillas durante el período de fructificación, lo cual posibilita disponer de este material con relativa facilidad. Además, debido a las condiciones particulares de almacenamiento a que fueron sometidas las semillas, pudieran aparecer patógenos y dañar en breve tiempo la viabilidad, lo que condujo a decidir la utilización de períodos anuales para el almacenaje en condiciones ambientales. Se debe recordar que aunque al inicio el contenido de humedad de las semillas estuvo entre 10 y 12%, estos valores tienden a equilibrarse con el ambiente en la medida que transcurre el tiempo, principalmente cuando el almacenamiento no es hermético.

Por todo lo anterior, resultó de suma importancia conocer el grado de deterioro que podrían presentar las semillas de *A. lebbbeck* antes de comenzar el período de almacenaje (Delouche 2005), por lo que se realizó el ensayo topográfico de tetrazolio.

Los resultados de esta prueba mostraron que las semillas iniciaron su vida en el almacén con 99,25; 100 y 100% de viabilidad para el primero, segundo y tercer año en estudio, respectivamente (figura 2), lo cual indicó que el deterioro era prácticamente inexistente; ello concuerda con ISTA (1999), Schmidt (2000) y Delouche (2002), quienes plantean que el deterioro se refleja en la viabilidad sólo cuando pasa a un estadio avanzado, debido a que las semillas son capaces de reparar el daño únicamente cuando éste no se convierte en irreversible.

Además, el alto porcentaje de viabilidad de las semillas de albizia en el inicio del almacenamiento (0 mdia) puede conducir a afirmar que no hubo factores negativos, ambientales o de manejo, durante el proceso de cosecha, procesamiento antes del almacenamiento.

### III.1.2.1 Longevidad y deterioro

La prueba de Duncan detectó diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre las evaluaciones para la interacción año de cosecha por tiempo de almacenamiento de las semillas, que se corrobora en la figura 2 donde se representan los valores porcentuales de viabilidad de las semillas de *A. lebbbeck* en las seis evaluaciones realizadas durante los tres años experimentales.

Las curvas evidencian la similitud de los resultados para los años de almacenamiento; podría decirse que todas siguen la misma tendencia descendente. El descenso más marcado se presentó en el intervalo de 0 a 2 mdia para los tres años, con diferencias significativas entre ambas evaluaciones en cada año, tal y como se observa en la figura 2.

Esto evidenció que el porcentaje de semillas viables de *A. lebbbeck* disminuyó ligeramente a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento y que el envejecimiento natural de estas semillas fue un proceso lento, progresivo y natural. Estos resultados concuerdan con Bruggink et al. (1999) y Sacandé (2002) sobre la tendencia que experimenta la viabilidad durante el almacenamiento; y afirman que dicha tendencia no es lineal en el tiempo, sino que normalmente sigue un patrón sigmoideo.

Este es un proceso lógico, ya que se conoce que incluso en condiciones óptimas de almacenamiento sólo se puede mantener la viabilidad, pero nunca mejorarla (Schmidt 2000; Hilhorst y Bradford 2000).

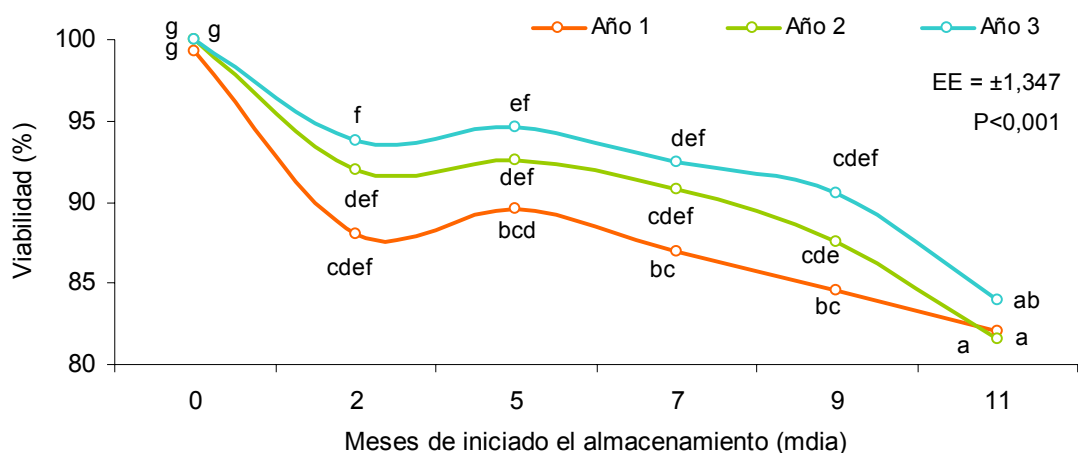


Figura 2. Evolución de la viabilidad de las semillas de *A. lebeck* durante el almacenamiento.

El comportamiento pudo estar asociado a diversos factores intrínsecos entre los que, de acuerdo con Priestley (1986) y Smith y Berjak (1995), se encuentran: un resquebrajamiento de las membranas celulares, la pérdida de la actividad catalítica de las enzimas, la acumulación de mutaciones en los cromosomas y la disminución de las reservas alimenticias; elementos que no fueron medidos en este experimento y pueden haberse manifestado en cierta medida.

En otras especies arbóreas de la familia *Leguminosae* cuyas semillas recién cosechadas, al igual que *A. lebeck*, presentan un comportamiento ortodoxo, el almacenamiento en condiciones ambientales no limita de manera importante la viabilidad. A similares conclusiones arribaron Timyan (1996), Powell (1997), González et al. (1998) y CATIE (2000c) para otros árboles del trópico.

### III.1.2.2 Facultad germinativa

La figura 3 muestra o corrobora la interacción determinada a través de la prueba de Duncan ( $P < 0,001$ ) entre los factores estudiados, aunque con un patrón similar para los tres años en todo el período experimental.

Así, mientras que la germinación fue de 46,0% a 0 mdia en el año 3, alcanzó aproximadamente 42,0% en el primer y segundo año en esta misma evaluación.

Además, se aprecia que la germinación presentó un comportamiento variable dentro de cada año. En cada período de almacenamiento el porcentaje más alto, aunque sin diferir entre sí, se observó a 0 mdia; a continuación declinó hasta los 7 mdia, excepto en el año 3, que en vez de continuar disminuyendo hasta los 7 mdia aumentó entre 7 y 9 mdia; no obstante, estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre ambas evaluaciones.



En cada uno de los meses (individualmente) no se encontraron diferencias significativas entre los años en los que se evaluó la germinación, a excepción del valor reportado a los 7 mdia para los años 1 y 3. En este caso, el año 1 (31,0%) no difirió del año 2 (34,0%) y a su vez este último no mostró diferencias con el año 3 (37,75%).

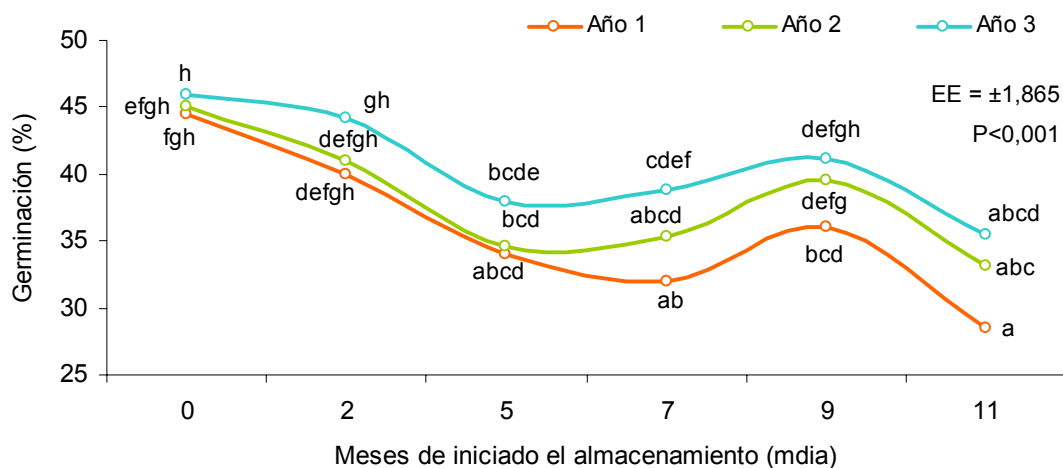


Figura 3. Variaciones de la facultad germinativa de las semillas de *A. lebeck* durante el almacenamiento.

Matías (1998), al medir la germinación de las semillas de *A. lebeck* a los 3, 6 y 12 meses de almacenadas en condiciones ambientales, también encontró un comportamiento similar. Igual hábito observaron González et al. (1998) en las simientes de *L. leucocephala* vs Cunningham en similares condiciones de almacenamiento.

Resultados similares fueron informados en *Acacia farnesiana* (L.) Willd. (Timyan 1996) cuando el porcentaje de germinación de las semillas frescas osciló entre 10 y 40%. Otro ejemplo lo constituye *Albizia guachapele* (Kundh) Dugand., cuyas simientes sin recibir tratamiento previo muestran de 20 a 35% de germinación (CATIE 2000c), y *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., con valores entre 36 y 54% para semillas jóvenes (Molina et al. 1996).

Es de destacar que los porcentajes registrados siempre fueron inferiores al valor obtenido en el inicio del período de evaluación de cada año (0 mdia) y hasta 2 mdia, sin diferir estadísticamente.

### III.1.2.3 Período e intensidad de la dormancia

Independientemente de las interacciones que ya fueron explicadas, una apreciación general de la información indica que la máxima expresión para los indicadores viabilidad y germinación se presentó en el inicio del estudio; mientras que los porcentajes de viabilidad en cada evaluación

siempre fueron superiores a los de la prueba estándar de germinación (figura 2 y figura 3), e incluso en la última evaluación (11 mdia) existió una marcada diferencia entre ambos indicadores. Es decir, las semillas viables no germinaron cuando se les brindó las condiciones que favorecen el proceso germinativo, según Cohn (2006).

Este fenómeno puede estar asociado a lo que en la fisiología de las plantas se conoce como dormancia (Foley y Fennimore 1998; Geneve 2003; Dias 2005) y fue reportado en un amplio número de especies tropicales (Kannan et al. 1996; Teketay 1996a; Poulsen et al. 1998; Roshetko 1998, Esau 2000; McDonald 2000; Willan 2000; Iriondo 2001; Navarro et al. 2006).

La dormancia en las leguminosas se debe a la impermeabilidad de la cubierta y en este experimento la prueba de germinación detectó la presencia de las llamadas “semillas duras” (ver figura 4).

Al analizar los porcentajes de semillas dormantes y su expresión física como semillas duras en cada una de las evaluaciones, se observó que en el inicio del almacenamiento (0 mdia) los valores fueron idénticos (52,85%), aunque, a partir de esta evaluación se observaron ligeras diferencias que sólo a 11 mdia fueron de 7% (51,0 vs 58,0%, respectivamente). Cada valor representa el promedio de los tres años. Este hecho también apoya la concepción de que existe una relación directa entre las semillas dormantes y las semillas duras, y afirma que la dormancia en esta especie está estrechamente relacionada con la dureza de las simientes.

Al final de los ensayos de germinación, en cada año y como otro elemento de verificación más objetiva entre la relación dormancia/semilla dura, se aplicó un pequeño corte a las simientes y se mantuvieron en germinación durante siete días adicionales; los resultados mostraron valores de germinación cercanos al 100%.

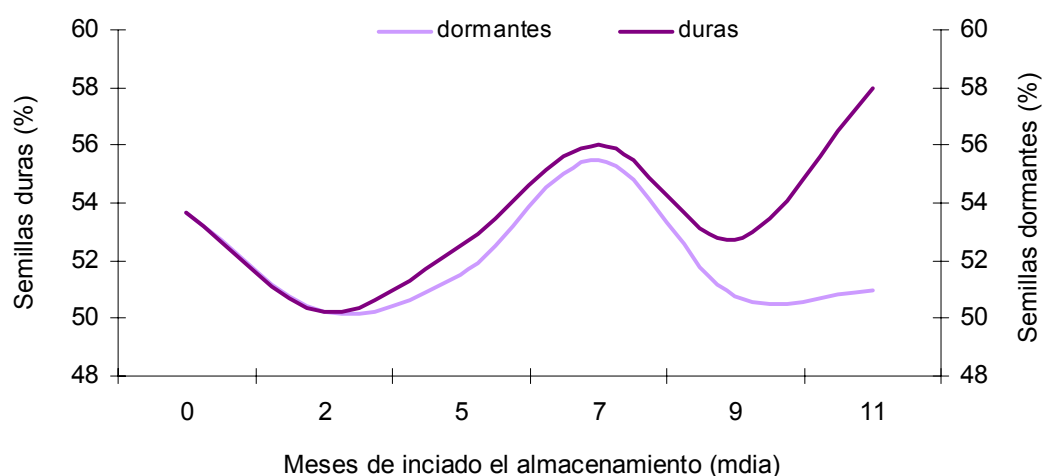


Figura 4. Evolución de la dormancia en las semillas de *A. lebeck* en el transcurso del almacenamiento.

Según Hilhorst (2007) existen varios grados de dormancia y estos pueden variar desde muy ligero hasta muy intenso (profundo). Al valorar la información experimental obtenida hasta aquí, se puede inferir que existe una dormancia de alrededor del 50% que no disminuye apreciablemente en el transcurso de un año.

Por otro lado, los resultados de este experimento permiten afirmar que durante el manejo poscosecha previo al inicio del almacenamiento, las semillas de *A. lebbeck* no se deterioran o al menos no es perceptible el daño; mientras que al aumentar el tiempo de almacenaje, éstas envejecen a un ritmo progresivo natural.

Es muy probable que el porcentaje de germinación y la longevidad de las semillas de *A. lebbeck* dependan del tiempo que permanecen en el almacén, lo cual indica que la pérdida de la viabilidad puede tener como principal agente causante los factores intrínsecos (ver anexo 1).

Otro elemento que merece ser discutido, son los criterios de Harrington (1972) en relación con la influencia de la temperatura y el contenido de humedad en el almacenamiento, que son elementos que propician el desarrollo de plagas y patógenos. La información de la figura 1 del Capítulo II (Materiales y Métodos) indica que durante el transcurso del experimento la temperatura fluctuó (aunque dentro de valores aceptables) al igual que la humedad relativa. Dichas fluctuaciones se encontraron dentro del intervalo de confianza al 95% para cada variable climática analizada, tomando como base para el cálculo el comportamiento del clima en los últimos diez años en el lugar objeto de estudio, lo cual obviamente incluyó los datos de los tres años experimentales. Esto se apoya en observaciones periódicas llevadas a cabo en las semillas almacenadas, donde no se apreció deterioro de su integridad física debido a la presencia de insectos y otros patógenos que pudieran afectar la viabilidad de manera negativa.

### **III.2 Experimento 2. Efecto de los tratamientos presiembra en el comportamiento de la germinación y la viabilidad de las semillas de *A. lebbeck* almacenada al ambiente**

**Objetivo:** Evaluar la aplicación de diferentes métodos de escarificación para favorecer la germinación y la emergencia de plántulas empleando semillas recién cosechadas de *A. lebbeck* almacenadas al ambiente.

#### **III.2.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **III.2.1.1 Diseño experimental y tratamientos**

Para el estudio de la germinación y la emergencia de plántulas en el vivero, se empleó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 4 x 13 para la escarificación húmeda y

3 x 13 para la escarificación seca, en el que los factores estuvieron determinados por los métodos presiembra y los tiempos de almacenamiento.

A intervalos mensuales se aplicaron, en el momento de la siembra, los métodos de escarificación que se relacionan en la tabla 2.

Tabla 2. Métodos de escarificación empleados antes de la siembra en el vivero.

Escarificación	Método	Procedimiento
Húmeda	Ácido	Exposición a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 96% de concentración durante 15 minutos
	Agua caliente	Inmersión en H <sub>2</sub> O a 80°C durante 3 minutos
	Remojo	Inmersión en H <sub>2</sub> O a temperatura ambiente durante 24 horas
	Control	-
Seca	Pinchazo	Pinchazo con aguja entomológica región dorsiventral de la semilla
	Corte de cubierta	Corte ligero de la cubierta seminal en la zona opuesta al embrión
	Control	-

Para la determinación de los indicadores germinación y emergencia se emplearon en cada evaluación 400 semillas, distribuidas en cuatro repeticiones (ISTA, 1999). Se realizaron conteos diarios durante 21 días y el riego fue a saturación.

### III.2.1.2 Variables estudiadas

*Germinación:* Se interpretó la germinación como la capacidad de las estructuras fundamentales del embrión de iniciar el crecimiento, en términos visuales: el momento de la aparición de la radícula (Côme 1970).

*Emergencia:* Se consideró que la plántula estaba emergida cuando en la superficie del sustrato se observaron los cotiledones fuera de la envoltura seminal debido al alargamiento y erección del hipocótilo (Besnier 1965).

### III.2.1.3 Procesamiento estadístico de los resultados

Se realizaron análisis de varianza según modelo de clasificación simple en arreglo factorial 4 x 13 para la escarificación húmeda y 3 x 13 para la escarificación seca. Los datos se transformaron según  $\text{Arcsen}\sqrt{(\% + 0,375)}$ ; se utilizó la dócima de comparación múltiple de

Duncan (1955) y las diferencias fueron declaradas significativas a valores de  $p < 0,05$ . El procesamiento estadístico se llevó a cabo mediante la utilización del programa InfoStat versión 1.0 (Rienzo et al. 2001).

### III.2.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III.2.2.1 Capacidad germinativa

La tabla 3 muestra que se encontró interacción significativa entre los factores estudiados ( $P < 0,001$ ) para la variable germinación.

El porcentaje más alto (40,85%) se obtuvo en el control con semillas sembradas a un mes de iniciado el almacenamiento (1 mdia). No obstante, éste no difirió según el test de Duncan ( $p < 0,05$ ), de los valores registrados por las semillas recién cosechadas (0 mdia) y de 4 mdia en ninguno de los cuatro métodos presiembra (se incluye el control). Tampoco difirió de las germinaciones en el intervalo de 0 a 6 mdia para las semillas que previamente se mantuvieron por 24 horas en remojo en agua a temperatura ambiente y aquellas que no recibieron ningún procedimiento previo (control). Resulta necesario aclarar que en el intervalo anterior, el valor que se reportó a los 5 mdia en el control (27,79%) difirió de 40,85% (valor más alto del estudio), no así del resto de las evaluaciones mencionadas. Esto expresa el comportamiento de la interacción.

En los métodos presiembra no se encontraron diferencias estadísticas entre el ácido y el agua caliente, en las semillas evaluadas a 1, 3, 6 y 7 mdia; mientras que estos mismos tratamientos (métodos y meses) fueron estadísticamente diferentes al control y en todos los casos los valores fueron inferiores a éste último, lo que podría interpretarse como una posible afectación del ácido y el agua caliente al embrión, expresada en la germinación hasta los 7 mdia.

Resultados similares fueron encontrados por Toral y Machado (2002); estos autores al estudiar la germinación en 76 especies arbóreas concluyeron que el agua caliente (80°C) es un tratamiento no muy efectivo para estimular el proceso germinativo.

A lo anterior se puede añadir que las respuestas irregulares del agua caliente para estimular la germinación de *A. lebeck*, es muy posible que estén vinculadas estrechamente a que en este estudio la temperatura del agua (80°C) estuvo por encima de lo requerido para la detonación del proceso germinativo en esta especie. En estudios dirigidos por Smith et al. (2003) se determinó que las semillas de árboles como *Celtis africana*, *Cordia sinensis* y *Melia volkensii* requieren remojo en agua a 40°C.

Otra posible respuesta está en que en muchas especies que responden bien al agua caliente, la germinación decrece con el incremento del tiempo de exposición a dicho tratamiento (Teketay

1996b). Es válido recordar que en el presente experimento el tiempo de inmersión fue de tres minutos y de acuerdo con Kannan et al. (1996), el método es más efectivo cuando el tiempo de inmersión es breve, ya que evita los daños en el embrión.

Es así que la inmersión en agua a 90°C por un minuto aportó buenos resultados para la capacidad germinativa de *Acacia mearnsii* y *A. melanoxylon* (Albrecht 1993); mientras que 30 segundos de remojo en agua a elevadas temperaturas dominó la dormancia por cubierta dura de las semillas de *Acacia mangium* (Bowen y Eusebio 1981).

El agua caliente como tratamiento no indujo germinación en las semillas de *Hypericum aviculariifolium* subsp. *depilatum* var. *Depilatum* (Cirak et al. 2007); pero sí el agua a temperatura ambiente.

En la literatura aparecen reportes que concuerdan con los resultados del presente experimento. Es así que para las semillas de *Cratylia argentea* la inmersión en ácido no favoreció la germinación en relación con el testigo, al causar la muerte de un alto porcentaje de éstas (Sanabria et al. 2004). Estos autores observaron que la exposición al ácido provocó la completa eliminación del tegumento, lo que posiblemente causó daños al embrión y como consecuencia se elevó el porcentaje de semillas muertas.

Otros resultados apuntan hacia el ácido sulfúrico como una solución para la cancelación de la dormancia en determinadas especies de árboles leguminosos tropicales y subtropicales (Fariñas et al. 1997; CATIE 2000a; Smith et al. 2003; Sanabria et al. 2004).

Otros aspectos que merecen ser discutidos y que apoyan la agresividad del agua caliente y el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> es que el control fue superior en muchos casos a la germinación en los dos métodos señalados. Además, lo mismo sucedió con los resultados del remojo, en comparación con estos pretratamientos. A ello se añade que la totalidad de las evaluaciones del remojo y el control no difirieron entre sí, y mayormente de los métodos del agua caliente y ácido.

Por otro lado, la región hilar y el pleurograma son puntos relativamente débiles de la cubierta seminal, lo cual ha sido descrito con exactitud por Schmidt (2000), debido a ello son las zonas que más tienden a convertirse en permeables durante los pretratamientos (Kannan et al. 1996). Esta podría ser una de las explicaciones para entender el mecanismo de acción para el remojo en agua por 24 horas, ya que a diferencia del resto de los métodos presembrados evaluados, el remojo no incluye “agresión” a la integridad de la simiente, incluyendo la de la corteza seminal; dicha condición es indispensable para provocar la ruptura de la dormancia en semillas de árboles tropicales y, por consiguiente, la aparición de la radícula.

En sentido general se apreció que el remojo por 24 horas en agua a temperatura ambiente, no provocó aumento ni disminución en la capacidad germinativa de las semillas de albizia.

Tabla 3. Comportamiento de la germinación de las semillas de *A. lebeck* posterior a la escarificación húmeda.

Meses	Ácido	Agua	Remojo	Control
0	38,22 qrs (40,33)	29,62klmnopqrs (30,00)	32,54 nopqrs (29,00)	38,85 rs (39,00)
1	11,06 abcde (5,00)	11,06 abcde (4,33)	36,38 pqrs (34,83)	40,85 s (42,33)
2	28,48 ijklmnopqr (24,67)	4,30 a (0,33)	37,36 pqrs (36,33)	35,81 pqrs (33,67)
3	17,02 bcdefghi (8,33)	15,36 abcdefgh (11,00)	37,24 pqrs (36,67)	37,24 pqrs (36,33)
4	35,64 pqrs (35,00)	32,37 mnopqrs (28,67)	29,51 klmnopqrs (25,33)	31,23 lmnopqrs (26,67)
5	17,48 cdefghij (8,67)	14,90 abcdefg (6,33)	33,52 opqrs (30,33)	27,79 ijklmnopqr (21,67)
6	11,29 abcde (3,67)	8,02 abc (2,00)	33,63 opqrs (30,33)	33,98 opqrs (31,00)
7	11,34 abcdef (4,33)	9,63 abcd (3,00)	25,90 ghijklmnop (19,67)	27,50 ijklmnopqr (21,33)
8	26,93 hijklmnopqr (22,00)	20,51defghijklm (13,33)	23,09 fghijklmno (16,00)	22,52 efg hijklmno (14,67)
9	27,96 ijklmnopqr (22,00)	14,61 abcdefg (9,33)	20,05 defghijkl (11,67)	19,37cdefghijkl (10,67)
10	26,36 ghijklmnopq (20,00)	13,18 abcdef (6,67)	20,45 defghijkl (12,00)	18,33 cdefghijk (9,67)
11	29,34 jklmnopqrs (26,33)	5,16 a (0,67)	20,91 defghijklmn (12,33)	20,51 defghijklm (12,67)
12	28,76 ijklmnopqr (24,67)	5,73 ab (1,00)	20,63 defghijklm (12,33)	21,03 defghijklmn (12,67)
EE (±)	0,060			
Sign.	P<0,001			

Los valores ( ) corresponden a las medias de los datos originales.

Medias con la misma letra no difieren entre sí, según Duncan (1955)

Sin embargo Soto Pinto (1996), al estudiar diferentes métodos de escarificación para las semillas de *Cassia tormentosa* y *C. xiphoidea*, encontró que el remojo en agua a temperatura ambiente mostró bajos porcentajes de germinación.

No obstante, de acuerdo con nuestros resultados se deduce que dicho método ofrece determinadas posibilidades para ser considerado como una alternativa de escarificación húmeda en *A. lebbeck*. Los beneficios del remojo en agua desde 2 hasta 48 horas fueron reportados por Smith et al. (2003) para mejorar la germinación de muchas especies de árboles tropicales, como *Acacia mearnsii*, *A. melanoxylon*, *A. nilotica*, *Adenanthere mirosperma*, *Albizia amara*, *A. procera*, *Grevillea robusta*, *Trewia nidiflor* y *Pinus caribaea*; y por CATIE (2000c) para *Samanea saman*, *Erythrina poeppigiana*, *Leucaena salvadorensis*, *Pithecellobium dulce* y *Stryphnodendron microstachyum*; y también para *Samanea saman* (Jacq.) Merr. (CATIE 2000b) y *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. (Molina et al. 1996).

La tabla 4 muestra la interacción significativa ( $P < 0,001$ ) para el comportamiento de la germinación por el efecto combinado de los métodos presiembra en la escarificación seca y los meses de almacenamiento. Los valores más altos se reportaron en las evaluaciones 1, 2 y 3 mdia (59,59; 67,09 y 59,87%, respectivamente) con semillas que recibieron un corte en la cubierta antes de la siembra. Estos porcentajes no difirieron entre ellos y sí con el resto de las determinaciones realizadas.

Al comparar los resultados que se obtuvieron al evaluar la germinación de las semillas que previamente recibieron un corte de cubierta y aquellas que pertenecen al grupo control, se observó que a excepción de 8, 9 y 12 mdia el resto de las evaluaciones difirieron según el test de Duncan ( $p < 0,05$ ) y las diferencias siempre estuvieron a favor del corte de cubierta, es decir, este método permitió a las semillas de albizia aumentar los porcentajes de germinación o lo que es lo mismo: rebasar el estado dormante o favorecer un contacto más rápido de las estructuras embrionarias con el agua y el oxígeno ambiental. Resulta oportuno aclarar que al comparar el corte con el pinchazo, la germinación exhibió un comportamiento estadísticamente diferente. En todos los casos la variable objeto de análisis se mantuvo en valores inferiores para el pinchazo, y a su vez, este último método sólo difirió del control en las evaluaciones realizadas a 0, 1, 2 y 6 mdia, también con valores inferiores.

Estos resultados concuerdan con Poulsen y Thomsen (1999), Taylor (2003a) y Turner et al. (2005), autores que afirmaron que la destrucción de la impermeabilidad en un punto único de la cubierta seminal es normalmente suficiente para permitir la imbibición y el intercambio de gases.



Tabla 4. Comportamiento de la germinación de las semillas de *A. lebeck* posterior a la escarificación seca.

Meses	Pinchazo	Corte	Control
0	21,68 abcdefgh (14,33)	50,71 o (59,00)	38,85 lmn (39,00)
1	23,40 bcdefghi (16,00)	59,59 p (73,33)	40,85 mn (42,33)
2	23,30 bcdefghi (17,00)	67,04 p (81,67)	35,81 jklmn (33,67)
3	34,57 jklmn (32,67)	59,87 p (73,67)	37,24 klmn (36,33)
4	27,60 efghij (22,50)	41,73 n (44,33)	31,23 hijkl (26,67)
5	26,74 defghij (20,33)	51,66 o (60,33)	27,79 efghij (21,67)
6	23,59 cdefghi (16,33)	50,80 o (59,67)	33,98 jklmn (31,00)
7	18,72 abcde (11,33)	42,30 n (45,83)	27,50 defghij (21,33)
8	19,39 abcde (12,67)	29,60 ghijkl (24,67)	22,52 abcdefgh (14,67)
9	16,42 abc (8,33)	27,60 efghij (21,67)	19,37 abcde (10,67)
10	16,23 abc (8,00)	29,51 fghijkl (24,33)	18,33 abcd (9,67)
11	13,56 a (5,67)	32,28 ijklm (29,67)	20,51 abcdef (12,67)
12	14,13 ab (6,00)	28,93 fghijk (24,67)	21,03 abcdefg (12,67)
<b>EE (±)</b>		0,048	
<b>Sign.</b>		P<0,001	

Los valores ( ) corresponden a las medias de los datos originales.

Medias con la misma letra no difieren entre sí, según Duncan (1955)

En un estudio realizado por González y Navarro (2001) en *A. lebbeck*, para medir la germinación en condiciones de laboratorio, también se encontraron los valores superiores con el corte de cubierta (96,8%), con la diferencia de que en el citado estudio el máximo valor correspondió al inicio del almacenamiento, es decir a los 0 mdia.

Resultados similares han sido hallados en otras especies por Grus et al. (1984), Torres y Santos (1994), Bush et al. (1997), CATIE (2000c) y Willan (2000).

En ensayos con ocho especies de *Acacia* spp. en Australia y Tailandia el corte fue uno de los mejores tratamientos, con valores de 90 vs 10% en el testigo. Con este método también se reportaron altos valores de germinación en dos especies de corteza dura endémicas de Kenya: *Acacia xanthophloea* y *Trachylobium verrucosum*; mientras que en Zimbawe *Acacia albida* presentó más del 90% de germinación (Schmidt 1988; Masamba 1994).

Una valoración global de los resultados de la germinación indica que:

- 1) Existe profusa información nacional e internacional vinculada al tema.
- 2) Esta especie, probablemente, acuse latencia o dormancia acentuada durante el período de evaluación de este experimento, lo cual reafirma algunos resultados del experimento 1.
- 3) La viabilidad no decrece sustancialmente en el período evaluado, lo cual se puede apreciar en los valores particulares obtenidos en todos los casos.

Otro aspecto a resaltar es la eficacia del corte de cubierta y el remojo durante 24 horas en agua a temperatura ambiente como tratamientos de escarificación seca y húmeda, respectivamente, a pesar de los aceptables resultados exhibidos por el control.

### III.2.2.2 Emergencia de plántulas

En la tabla 5 se observa el porcentaje de emergencia de plántulas de *A. lebbeck* a diferentes tiempos de almacenamiento. Se encontró interacción significativa entre los factores estudiados ( $P < 0,001$ ).

El valor más alto (40,1%) correspondió a la evaluación realizada a los 6 mdia en el control; no obstante, éste no difirió estadísticamente de los porcentajes registrados a los 2, 3 y 4 mdia cuando no se aplicaron métodos dirigidos a la ruptura de la dormancia; tampoco se observaron diferencias cuando las semillas con 4 mdia permanecieron 15 minutos en  $H_2SO_4$  al 96% de concentración, así como con aquellas que a 3 y 4 mdia permanecieron antes de la siembra 24 horas en agua a temperatura ambiente.

Sólo las evaluaciones a 0, 4, 8 y 11 mdia tratadas con ácido no mostraron diferencias estadísticas con relación al control; el resto difirieron ( $P < 0,001$ ) positiva o negativamente. Es así que las semillas sembradas a los 9, 10 y 12 mdia, previa inmersión por 15 minutos en ácido

sulfúrico al 96%, presentaron valores para la emergencia de plántulas superiores a aquellas que no recibieron ningún método de escarificación (tabla 5), lo cual pudiera explicarse por una germinación más temprana.

Es justo mencionar que las diferencias entre los valores a 0 y 8 mdia, para este método y el control, fueron favorables a éste último y en la mayoría de los casos con diferencias estadísticas (ver tabla 5). Por otra parte, la mayor emergencia de plántulas cuyas semillas fueron tratadas con ácido se observó a los 4 mdia (33,2%), sin mostrar diferencias con las semillas evaluadas en ese mismo tiempo de almacenamiento en el control, pero sí con el resto de las evaluaciones en el método del ácido sulfúrico.

Otro aspecto de interés y que se ilustra con claridad en la tabla 5, es el contraste entre la emergencia a 6 mdia para el ácido (6,3%) y el control (40,1%); en esta última evaluación las semillas que no recibieron tratamientos antes de la siembra lograron el mayor porcentaje de emergencia, lo cual parece indicar que a los 6 mdia se presentaron, en buena medida, las condiciones naturales en las cuales se atenúa o cancela la dormancia y se facilita la emergencia (Baskin y Baskin 2001 y Foley 2001). De acuerdo con Teketay (1996b) el método con ácido no es aplicable a las semillas que fácilmente se convierten en permeables, debido a que el ácido penetra y daña el embrión.

En sentido general también podría pensarse que la exposición de las semillas (de 0 a 8 mdia) de albizia al  $H_2SO_4$  por 15 minutos, es excesiva para la emergencia en las evaluaciones entre 0 y 8 mdia, como igualmente ocurrió para la germinación, puesto que se conoce que la duración de este pretratamiento debe tener como objetivo el alcance de un balance en el cual la corteza de la semilla sea suficientemente rota para permitir la imbibición, pero sin que el ácido dañe al embrión (Teketay, 1996b). Por otra parte, Skerman et al. (1991) afirman que las semillas tratadas con  $H_2SO_4$  pueden sufrir daños del tegumento o que este no sea lo bastante impermeable para impedir que el ácido penetre y dañe el embrión, por lo cual la emergencia se afecta notablemente.

De acuerdo con Swofford (1965), para que la escarificación ácida sea apropiada y menos agresiva el contenido de humedad de las semillas debe estar por debajo de 10%, pues valores más altos propician que la acción del ácido sulfúrico sea más violenta, lo cual provoca daños a las semillas. El experimento que se analiza se realizó con semillas almacenadas en condiciones ambientales, por lo que en este tipo de almacén es imposible controlar la humedad por debajo del 10% (Navarro y Lezcano, 2007).

Los resultados enunciados anteriormente para la emergencia no pueden apartarse del efecto del ácido (o cualquier otro pretratamiento) en la germinación de las semillas. Es conocido que

en la dinámica de emergencia de plántulas, en zonas tropicales, las fuertes interacciones entre el microclima y la liberación de la dormancia tienen importantes implicaciones (van Klinken et al. 2006), haciendo muy variables los resultados con relación a la literatura. No obstante, esto puede ser especulativo.

Por otro lado, el comportamiento de la emergencia de plántulas en el método del agua caliente fue estadísticamente similar al control para las semillas evaluadas a los 0, 8, 9, 10 y 12 mdia. Ninguna de las evaluaciones que difirieron ( $P < 0,001$ ) del control presentaron porcentajes de la variable en estudio superiores a éste (tabla 5). Al igual que en el método del ácido, el agua caliente mostró el valor más alto de la emergencia a los 4 mdia; no obstante, éste difirió del encontrado en el control en ese mismo tiempo de almacenamiento, pero no del reportado en el ácido, todo lo cual se aprecia en dicha tabla.

El agua caliente está reportada por un grupo amplio de autores como un método ágil, barato y simple para provocar la ruptura de la dormancia de muchas especies tropicales, así como favorecer la germinación y la emergencia. Es preciso destacar que estos reportes parten de estudios en la germinación de las semillas; mientras que en esta parte del experimento se evaluó el comportamiento de la emergencia de plántulas en el vivero, por lo que podría plantearse que la exposición de las semillas de albizia durante tres minutos al agua a  $80^{\circ}\text{C}$  como tratamiento presiembra, en busca de beneficios para la emergencia de plántulas, no ofrece ventajas. Es posible que al penetrar el calor, además de provocar fallas en las estructuras que conforman el tegumento, afecte las estructuras embrionarias. En este caso la temperatura alta puede acelerar el metabolismo, que pasa violentamente de un estado de relativa quiescencia general a una activación intensa (van Klinken y Flack, 2005).

Otros resultados de este experimento muestran el comportamiento de las semillas que se remojaron durante 24 horas en agua a temperatura ambiente, el cual fue muy diferente del observado en el método del ácido y el agua caliente (tabla 5), puesto que para el remojo sólo las evaluaciones a 5 y 6 mdia fueron estadísticamente diferentes al control. La primera de ellas mostró un mayor porcentaje de emergencia de plántulas (26,4 vs 17,8%) con relación a este último, es decir, el embrión no se afectó debido a dicho porcentaje en el método del remojo.

El valor más alto en el método presiembra del remojo se obtuvo a los 4 mdia (36,1%), aunque es de destacar que éste no difirió estadísticamente de 33,8% reportado a los 3 mdia, y que a su vez fue menor que lo informado para el control a los 4 mdia (36,7%); esta última evaluación no exhibió diferencias significativas con 6 mdia (40,1%) considerado el porcentaje mayor en el control y a su vez de todo el agrupamiento “escarificación húmeda”.

Tabla 5. Comportamiento de la emergencia de plántulas de *A. lebeck* posterior a la escarificación húmeda.

Meses	Ácido	Agua	Remojo	Control
0	18,91 hijklm (15,50)	14,90 defghijk	22,92 lmno (16,67)	20,63 ijklmn (13,83)
1	4,58 a (0,33)	6,30 ab (1,17)	17,76 ghijkl (12,33)	17,76 ghijkl (12,50)
2	9,17 abcde (4,00)	6,30 ab (1,00)	29,22 opqr (23,67)	35,52 rs (34,00)
3	15,47 defghijkl (7,33)	3,44 a (0)	33,80 qrs (31,00)	38,39 s (38,67)
4	33,23 pqrs (31,00)	26,93 nopq (20,83)	36,10 rs (34,67)	36,67 s (35,67)
5	6,30 ab (1,33)	3,44 a (0)	26,36 mnop (20,00)	17,76 ghijkl (10,00)
6	6,30 ab (1,00)	9,17 abcdef (3,00)	26,36 mnop (20,00)	40,11 s (41,33)
7	7,45 abcd (1,67)	8,02 abcde (2,00)	17,19 fghijkl (8,67)	20,05 ijklmn (15,25)
8	13,18 bcdefghi (6,33)	10,89 abcdefg (4,83)	16,04 efghijkl (8,33)	13,75 bcdefghij (6,67)
9	22,92 lmno (19,50)	17,76 ghijkl (14,67)	5,73 ab (1,00)	10,31 abcdefg (3,42)
10	20,05 ijklmn (15,17)	6,88 abc (1,50)	12,61 bcdefghi (6,00)	10,31 abcdefg (3,17)
11	21,20 jklmno (16,50)	4,58 a (0,33)	15,47 defghijkl (7,83)	14,32 cdefghij (6,17)
12	23,49 lmno (18,17)	4,58 a (0,33)	10,89 abcdefg (3,83)	11,46 abcdefgh (4,00)
<b>EE (±)</b>			0,041	
<b>Sign.</b>			P<0,001	

Los valores ( ) corresponden a las medias de los datos originales.

Medias con la misma letra no difieren entre sí, según Duncan (1955)

Otro aspecto de particular interés resulta que a los 6 mdia las semillas que no fueron tratadas dieron origen a la mayor cantidad de plántulas; esto podría estar relacionado con las condiciones ambientales en las cuales se desarrolló dicha evaluación, asunción que está ampliamente respaldada en la literatura especializada sobre el tema, desde los clásicos como Nikolaeva (1977) hasta las más recientes investigaciones realizadas por Baskin y Baskin (2004). No obstante, esto no fue medido en el experimento y puede ser interpretativo. Un elemento importante es que este resultado, como otros encontrados en la emergencia, muestran que cuando existe una mayor y más rápida germinación existe, en general, un porcentaje de emergencia mayor.

En ocasiones el remojo en agua a temperatura ambiente incrementa la velocidad de germinación (CATIE 2000a). Parece ser que el efecto es simplemente una imbibición más rápida a partir del agua que rodea las semillas cuando están en bolsas, con riego frecuente, si se compara con la que se puede lograr en una cápsula Petri con arena humedecida (prueba estándar de germinación).

Schmidt (2000) planteó que el remojo en agua a temperatura ambiente es muchas veces suficiente para permitir la permeabilidad de la corteza seminal; mientras que el efecto de este mismo tratamiento en semillas duras varía con la especie, lo que indica que en algunas especies las semillas se convierten en gradualmente permeables y en otras existe un pobre efecto del remojo continuo.

Los mejores valores para el ácido, el agua caliente y el remojo (33,2; 26,9 y 36,1%, respectivamente) se presentaron a los 4 mdia. Para los tres métodos, los valores porcentuales fueron inferiores a lo ocurrido en el control para la emergencia y entre ellos sólo fueron estadísticamente diferentes el agua y el remojo, y el agua y el control (tabla 5).

Con respecto a la escarificación seca, la tabla 6 muestra que al realizar un corte en la cubierta seminal antes de la siembra a los 3 mdia, se obtuvo el mayor porcentaje de emergencia de plántulas (71,0%), valor que difirió estadísticamente del resto de las evaluaciones realizadas para el pinchazo, el control e incluso este mismo método.

Sólo las semillas sembradas a 2, 3, 11 y 12 mdia, previa implementación del corte en el lado opuesto al embrión, manifestaron diferencias estadísticas ( $P < 0,001$ ) con respecto a las evaluaciones en el control. En todos estos casos los registros de la emergencia en el método del corte fueron superiores a los de aquellas semillas que no recibieron pretratamiento, al igual que sucedió en *Albizia grandibracteata* (Tigabu y Oden 2001).

Lo anterior pudo estar asociado a que este método permite que todas las semillas puedan convertirse en permeables, ya que al manipularlas manualmente, el corte se realiza de acuerdo

con el espesor de la cubierta y el riesgo de daño es menor, dado que se evita manipular en las cercanías de la región radicular (Poulsen y Stubsggard, 2000).

Por otra parte, podría pensarse que el éxito del corte de cubierta está muy relacionado con la propiedad que tienen las semillas de los árboles leguminosos de poseer células que extraen agua en la capa en empalizada (Schmidt 2000), y por tanto luego del corte el proceso de reblandecimiento pasa del lugar inicial de la imbibición a la cubierta seminal completa en pocas horas, una vez que se sitúa en un sustrato humedecido.

Sin embargo, Sanabria et al. (2004) afirman que generalmente el método del corte de cubierta no es práctico para grandes cantidades de semillas, lo que debe ser evaluado adecuadamente.

Al relacionar los porcentajes alcanzados por la emergencia de plántulas en el corte y el pinchazo, sólo se detectaron diferencias estadísticas entre los valores de 2 y 3 mdia; en ambos el valor dominante fue el del método del corte de cubierta, lo cual se ilustra en la tabla 6 e indica que ambos tratamientos fueron similares en cuanto al efecto que producen, lo que se ha señalado anteriormente.

Al igual que en el tratamiento del corte, el porcentaje máximo para la emergencia cuando se procedió al pinchazo en la región dorsiventral de las semillas se observó a los 3 mdia (52,7%), el cual difirió ( $P < 0,001$ ) del resto de los valores del conjunto “escarificación seca”, con excepción del corte a los 6 mdia. Justamente la emergencia de plántulas en la evaluación que conjuga los 3 mdia y el pinchazo de las semillas es la única del método pinchazo que mostró diferencias estadísticas significativas y favorables en comparación con el control.

Las variaciones entre los resultados de semillas a las que se les practicó un pinchazo antes de la siembra y aquellas que no recibieron ningún tratamiento son ligeras (tabla 6). Es decir, podría pensarse que el tratamiento es otra alternativa conveniente para potenciar la emergencia de plántulas de *A. lebeck*.

Wolf y Kamondo (1993) y Msanga (1998) consideraron efectivo el pinchazo para liberar la dormancia de *Acacia tortilis*, *A. seyal*, *Albizia gummifera*, *Brachystegia spiciformis*, *Delonix elata*, *Faidherbia albida*, *Leucaena leucocephala*, *Maesopsis eminii* y *Terminalia* spp.

Este tratamiento es trabajoso y su realización consume tiempo, por lo que Smith et al. (2003) consideran que es práctico para tratar cantidades pequeñas de semillas o para propósitos de investigaciones.

Al analizar los resultados de la emergencia de plántulas de albizia luego de la aplicación de diferentes tratamientos enfocados a la ruptura de dormancia, se puede valorar que el corte de cubierta es un método apropiado para estas semillas, sin dejar de mencionar que el remojo también constituye otra alternativa para la escarificación.

Tabla 6. Comportamiento de la emergencia de plántulas de *A. lebbeck* posterior a la escarificación seca.

Meses	Corte	Pinchazo	Control
0	30,37 jklm (30,17)	27,50 hijk (22,83)	20,63 cdefghij (13,83)
1	25,21 ghij (26,00)	18,91 abcdefgh (16,67)	17,76 abcdefgh (12,50)
2	50,99 o (59,5)	28,65 hijkl (30,00)	35,52 klmn (34,00)
3	71,05 p (87,67)	52,71 o (63,00)	38,39 lmn (38,67)
4	38,39 lmn (39,00)	36,10 klmn (36,17)	36,67 klmn (35,67)
5	24,06 efg hij (18,67)	16,04 abcdefg (7,33)	17,76 abcdefgh (10,00)
6	45,84 no (51,00)	40,11 mn (41,33)	40,11 mn (41,33)
7	29,79 ijklm (29,67)	22,35 defghij (19,00)	20,05 abcdefghij (15,25)
8	13,18 abcde (5,83)	9,17 a (3,00)	13,75 abcde (6,67)
9	20,63 bcdefghij (15,67)	11,46 abc (4,67)	10,31 ab (3,42)
10	19,48 abcdefghi (11,33)	9,74 ab (3,17)	10,31 ab (3,17)
11	25,21 ghij (19,67)	14,90 abcdefg (7,00)	14,32 abcdef (6,17)
12	22,35 defghij (15,83)	12,61 abcd (5,17)	11,46 abc (4,00)
<b>EE (±)</b>		0,056	
<b>Sign.</b>		P<0,01	

Los valores ( ) corresponden a las medias de los datos originales.

Medias con la misma letra no difieren entre sí, según Duncan (1955)



Antes de intentar arribar a resultados precisos en este experimento, se pudo apreciar que las informaciones procedentes de la literatura nacional e internacional son profusas en cuanto a las técnicas para romper la dormancia y su influencia en la germinación, lo que no es así para la emergencia en árboles tropicales.

Además, los resultados fueron también muy variables y pueden estar relacionados con el estado biológico particular en el cual se encuentran las semillas al momento de aplicar el tratamiento presiembra. Se intentó hacer comparaciones puntuales, lo que en ocasiones resultó complejo; de ahí que la estrategia para explicar los resultados puede ser una valoración en sentido global.

De acuerdo con estas últimas consideraciones, si se trata de relacionar la germinación con la emergencia se puede constatar a través del análisis de las tablas 3, 4, 5 y 6 que de manera general, cuando se aplicó la escarificación húmeda, existió 29% de casos en que una mayor germinación se correspondió con una mayor emergencia; mientras que esto ocurrió en 36% de los casos en la escarificación seca. Ambos valores no son muy altos, lo que puede atribuirse a varios factores. Por ejemplo, cuando las semillas son tratadas por lotes, principalmente en los métodos con ácido o agua caliente, no se puede hacer ninguna consideración con respecto a la variación individual entre ellas. Además, el grado de manipulación al que fueron sometidas las simientes en todos los tratamientos presiembra puede considerarse fuente de sesgo. Otro elemento de influencia en algunas imprecisiones pudiera ser el tamaño de muestra aunque en todos los casos se siguieron las orientaciones internacionales recomendadas por ISTA (1999) y AOSA (1992).

Independientemente de todo lo anterior, tanto en la germinación como en la emergencia los resultados en la escarificación húmeda se inclinaron favorablemente al remojo y el control y en la escarificación seca al corte de cubierta. La probable explicación de este comportamiento fue dada a lo largo de la discusión particular de este experimento.

Para terminar esta parte del análisis e independientemente de que el tamaño de la muestra empleada en el experimento es lo recomendado por ISTA (1999) y AOSA (1992), la probable variabilidad genotípica particular de esta especie pudiera sugerir la necesidad de aumentar éste. También sería conveniente analizar el aumento del número de días requerido para la duración de la prueba estándar de germinación y para la de emergencia de plántulas.

## **CAPÍTULO IV. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS PRESIEMBRA Y EL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LA EMERGENCIA Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *A. LEBBECK* EN EL VIVERO**

El establecimiento no es un evento simple. De ahí que se debe considerar como un sistema integrado por la siembra, la emergencia, el crecimiento y el manejo temprano del vegetal (Ruiz y Febles 2003). De los cuatro componentes de este sistema se estudiarán dos, es decir la emergencia y algunos elementos del crecimiento temprano, vinculados ambos al vigor. Estos componentes requieren ser precisados y definidos.

Con respecto al concepto y los procesos vinculados al vigor se especula y se debate profusamente (Delouche 1976; McDonald 1980; Perry 1981; Steiner 1990; Murcia et al. 2001 y Shah et al. 2002). Una de las ideas es que las pruebas de vigor se desarrollaron con la finalidad de ofrecer sólo información complementaria a la obtenida por la prueba de germinación y que, a su vez, permiten estimar el potencial de emergencia en el campo en una amplia gama de condiciones ambientales (Barros et al. 2002; Costa y Carvalho 2006).

En nuestro caso, estas concepciones se pueden unir a la aceptada por AOSA (1983) y por ISTA (1995) y considerar el vigor como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de estas o de un lote durante la germinación y emergencia de las plántulas. Por otro lado, los elementos anteriores están estrechamente relacionados con la calidad, como ha sido también planteado por Bhering et al. (2006).

### **IV.1 Experimento 3. Caracterización de la dinámica de la emergencia de plántulas de *A. lebbeck* en diferentes ambientes mediante el uso de la función Weibull**

**Objetivo:** Conocer el vigor de plántulas mediante la evaluación de la dinámica de la emergencia cuando la siembra se realiza en tres condiciones ambientales y a diferentes tiempos de almacenaje de la semilla, utilizando la función Weibull.

## IV.1.1 MATERIALES Y MÉTODOS

### IV.1.1.1 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (3 x 8) representado por los factores: ambientes de siembra (3) y tiempos de almacenamiento (8).

En cada evaluación las semillas de un mismo lote se dividieron en tres porciones (previa homogenización de las submuestras), con la finalidad de sembrarlas en diferentes ambientes de siembra (tabla 7). La frecuencia de evaluación (tiempo de almacenamiento) fue: 0, 2, 4, 5, 6, 7, 9 y 11 meses de iniciado el almacenamiento (mdia) y en cada una se realizaron conteos diarios durante 21 días en la prueba de emergencia; el riego fue a saturación.

Tabla 7. Ambientes experimentales empleados para la siembra y sus características.

Ambiente de siembra	Característica sobresaliente
<b>A</b> Vivero experimental	Exposición a pleno sol
<b>B</b> Vivero con sombreador	Umbráculo con malla que ofrece 40% de sombra
<b>C</b> Cabina de germinación	Condiciones controladas (luz, temperatura y humedad)

Para las siembras en el vivero con sombreador (B) y en el vivero experimental (A), se utilizaron bolsas con sustrato compuesto por una mezcla de suelo Ferralítico Rojo y estiércol ovino, totalmente descompuesto y seco, en partes iguales (1:1).

#### *Dinámica de la emergencia de plántulas*

El análisis de la dinámica de la emergencia de plántulas se realizó a partir de los criterios establecidos por Scott et al. (1984), quienes plantearon que tres de los cinco parámetros que componen la ecuación de Weibull modificada (Brown 1987; Brown y Mayer 1988) definen las principales características del proceso de germinación que conduce a la emergencia y, por tanto, a una aproximación de la estimación del vigor de las semillas.

$$F(t) = M \left\{ 1 - \exp[-k(t - Z)]^c \right\}$$

M = Valor máximo de la emergencia acumulada (%)

k = Valor estimado de la tasa de emergencia (% emerg. d<sup>-1</sup>)

Z = Retraso de la emergencia (días)

t = tiempo de duración de la prueba

<sup>c</sup> = determina la forma de la curva

Es necesario explicar que los valores de M, k y Z se obtienen de los datos registrados durante los 21 días de duración de la prueba de emergencia de plántulas.

#### IV.1.1.2 Procesamiento estadístico de los resultados

Se realizó análisis de varianza para M, k y Z según modelo de clasificación simple en arreglo factorial (3 x 8). Los datos se transformaron según  $\text{Arcsen}\sqrt{\% + 0,375}$ . Se utilizó la dócima de comparación múltiple de Duncan (1955) y las diferencias se declararon significativas a valores de  $p < 0,05$ . El procesamiento se condujo a través del paquete estadístico InfoStat versión 1.0 (Rienzo et al. 2001).

#### IV.1.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 5 presenta la interacción altamente significativa ( $P < 0,001$ ) entre los factores: ambientes de siembra y tiempos de almacenamiento, que se encontró para la respuesta biológica manifestada por la emergencia acumulada máxima (parámetro M).

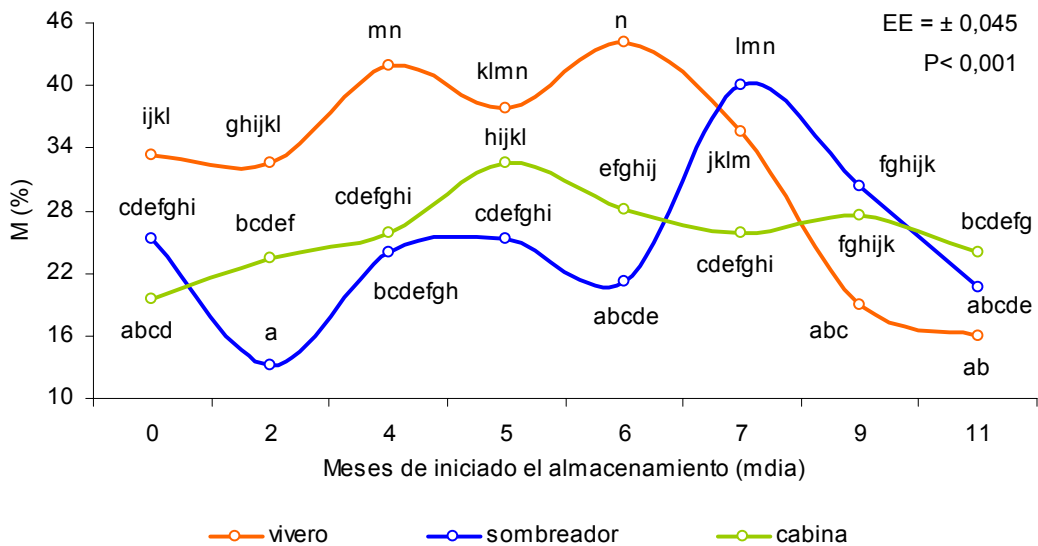


Figura 5. Emergencia acumulada máxima (M) para los ambientes de siembra en cada tiempo de almacenamiento

El valor más alto de M para este experimento fue 44,1%, que se alcanzó en el ambiente vivero a pleno sol (A) cuando se sembraron semillas con 6 mdia. Dicho valor difirió del resto del estudio, con excepción de las evaluaciones a los 7 mdia (40,1%) en B (ambiente sombreador) y a 4 (41,8%) y 5 mdia (37,8%), ambas registradas en A. Es de señalar que esta última evaluación no presentó diferencias significativas al compararla con las siembras realizadas en el vivero a 0, 2 y 7 mdia, ni con 9 mdia en el sombreador y 5 mdia en la cabina de germinación. También se puede apreciar que de 0 a 6 mdia los valores más altos se registraron en A, mientras que en 7 y 9 mdia correspondieron a B los mejores porcentajes de M y al final del

estudio (11mdia) la siembra en C mostró el mayor valor para la citada evaluación, aunque sin diferir de los otros dos.

Atención especial merecen dos situaciones. La primera es la pérdida brusca del porcentaje de M que se observó en A a partir de 6 mdia (44,1%), lo cual pudiera estar relacionado con el tiempo de almacenamiento que provocó diferencias significativas a partir de aquí con relación a 7 (35,5%), 9 (18,9%) y 11 mdia (16,0%). Las condiciones climáticas pudieran haber influido, ya que la evaluación a 6 mdia y las siguientes coincidieron con los meses del período seco, cuando los indicadores del clima variaron según aparece en la figura 1 (Capítulo II). La segunda está relacionada con las ligeras variaciones del porcentaje de emergencia acumulada que se presentaron en C en comparación con A y B, ya que M osciló entre 19,5 y 32,7%, ambos registrados a 0 y 5 mdia, respectivamente.

Este comportamiento conduce a pensar que las condiciones ambientales imperantes en el vivero a pleno sol (A) pudieran estar relacionadas con el proceso germinativo y, por ende, con la emergencia de plántulas que es la variable objeto de estudio. Además, Bewley y Black (1982) aseguran que en la naturaleza, las fluctuaciones térmicas diarias (típicas de climas tropicales, subtropicales y mediterráneos) provocan el debilitamiento progresivo de las cubiertas duras impermeables, inducen la germinación y promueven en un tiempo limitado la mayor probabilidad de favorecer la emergencia.

Al respecto, Fairbrother (1991) sostiene que las fluctuaciones térmicas en condiciones naturales producen la expansión y contracción de los tejidos de la cubierta seminal, provocando fracturas que favorecen la entrada del agua necesaria para la germinación.

Es posible que la incapacidad de las simientes en C para expresar el máximo potencial de emergencia de la especie y, a su vez, atenuar o cancelar el estado dormante, se pueda deber a la presencia de condiciones estandarizadas y más estables en el tiempo, pues se conoce que las semillas presentan mecanismos enzimáticos reguladores de la germinación (Nonagaki 2006) que se disparan sólo cuando ocurren cambios térmicos en el ambiente que las rodea (Johnston et al. 1997). Estas variaciones diarias de la temperatura no sólo les permiten a las semillas reconocer la mejor época óptima para la germinación y la emergencia, sino también detectar la profundidad a que se encuentran y llevar a cabo ambos procesos de manera exitosa (Baskin y Baskin 1998).

Se debe recordar que en la cabina (C) existían condiciones controladas (luz, temperatura y humedad), lo cual a su vez está relacionado con el hecho de que las fluctuaciones del porcentaje de emergencia en este ambiente de siembra fueran discretas en comparación con el comportamiento en A y B, como se explicó anteriormente.

Estas deducciones reafirman que la relación que existe entre el estado dormante y su eliminación bajo determinadas condiciones ambientales constituyen, además, una respuesta más perceptible al ambiente, que permite la germinación, la emergencia y, por consiguiente, el establecimiento de la nueva planta sólo cuando las condiciones sean propicias para la especie (Bewley y Black 1994; Khurana y Singh 2001).

Por otra parte el parámetro  $k$ , el cual se corresponde con la velocidad o tasa de emergencia, presentó interacción significativa ( $P < 0,001$ ) para las evaluaciones realizadas (figura 6).

El valor más alto de  $k$  ( $2,3\%$  emerg  $d^{-1}$ ) se registró en A a los 6 mdia, sin presentar diferencias significativas con relación a las evaluaciones en A a 4 mdia ( $2,1\%$  emerg  $d^{-1}$ ) y en B a los 7 mdia ( $1,9\%$  emerg  $d^{-1}$ ); ambos valores no difirieron de las siembras en A a los 5 mdia ( $1,8\%$  emerg  $d^{-1}$ ).

La tasa de emergencia en este experimento mostró un ámbito de dispersión que osciló entre  $0,4-2,6$ ;  $0,29-1,9$  y  $0,5-1,4\%$  emerg  $d^{-1}$  para las evaluaciones realizadas en el vivero (A), el sombreador (B) y la cabina (C) respectivamente.

Al analizar en conjunto el comportamiento de  $M$  y  $k$ , se puede apreciar que no sólo se obtuvieron los mayores valores de emergencia acumulada en el vivero a pleno sol durante el intervalo 0-6 mdia, sino que al mismo tiempo la emergencia de plántulas fue más rápida, lo que obviamente se manifestó en una mayor uniformidad de la emergencia.

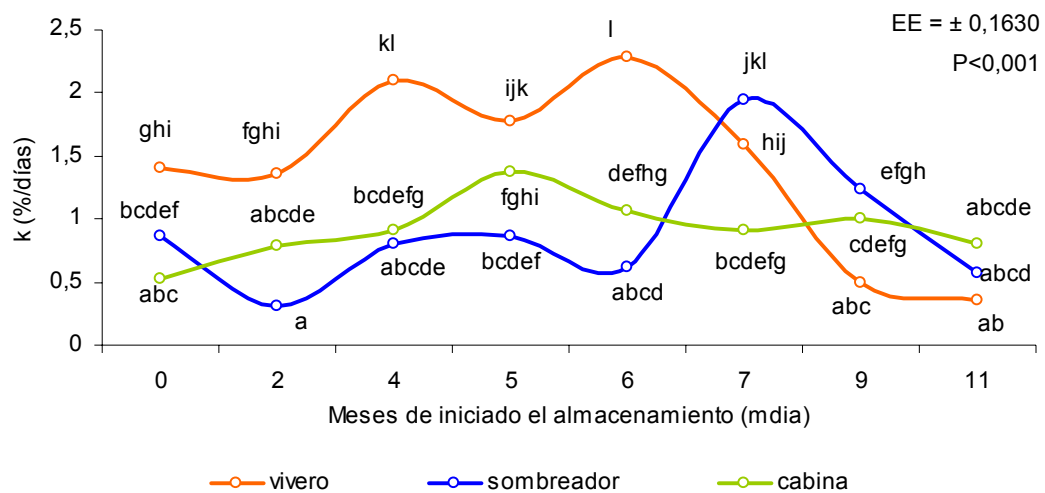


Figura 6. Tasa de emergencia ( $k$ ) para los tres ambientes de siembra en cada tiempo de almacenamiento.

El retraso de las semillas para mostrar la emergencia, representado por el valor  $Z$  (figura 7), mostró interacción significativa ( $P < 0,001$ ). En este parámetro los valores más bajos expresaron el mejor comportamiento, pues a medida que disminuyó  $Z$  se redujo el tiempo requerido para

que emergieran las plántulas y, obviamente, la emergencia temprana siempre es ventajosa para el éxito del establecimiento de una plantación.

Del análisis de las curvas representadas por Z se interpreta que la emergencia de plántulas de albizia comenzó más tempranamente (3 días) cuando se sembraron las semillas a 2 mdia en el ambiente vivero (A), a pesar de no diferir estadísticamente este valor de lo registrado en todas las evaluaciones, a excepción de las siembras en B a 2, 9 y 11 mdia (14,3; 10,5 y 8,3 días, respectivamente), así como en C a los 11 mdia (7,7 días). Puede entonces apreciarse que el tiempo para el inicio de la emergencia en albizia, sin distinción del ambiente de siembra, está enmarcado entre los 3 y 7,3 días posteriores a la siembra, lo cual conduce a afirmar que todas las siembras realizadas en A se consideran dentro del intervalo de tiempo mencionado.

El peor valor de Z (14,3 días) se obtuvo en B a los 2 mdia, seguido por 10,5 días también en el ambiente sombreador, pero a los 9 mdia. Este comportamiento no está en correspondencia con el de otras especies con germinación epígea, semillas ortodoxas y representantes de la subfamilia *Mimosaceae*. No obstante, se acerca a *Prosopis tamarugo*, leguminosa arbórea que tarda entre 5 y 10 días para iniciar la germinación (CATIE 2000c) sin previa aplicación de tratamientos pregerminativos.

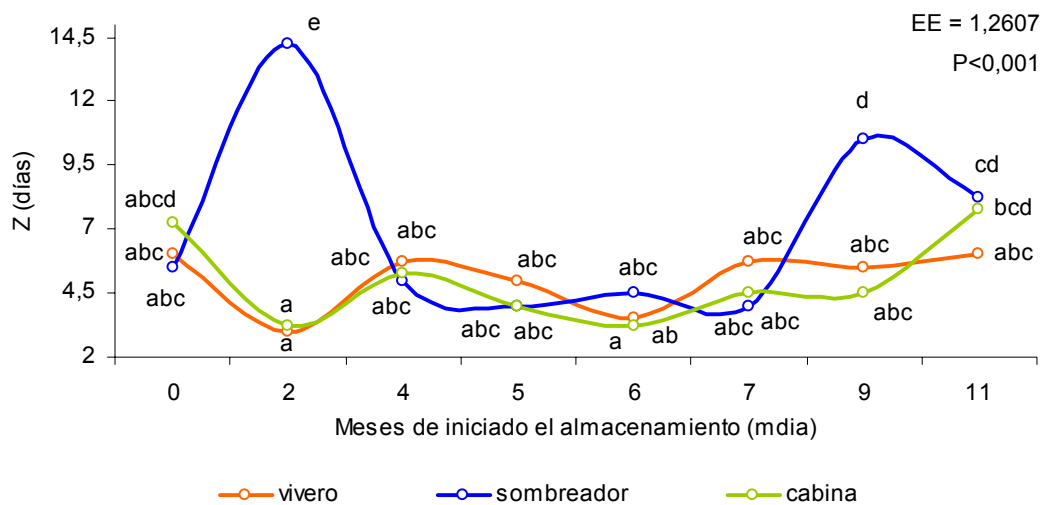


Figura 7. Retraso para el inicio de la emergencia (Z) para los tres ambientes de siembra en cada tiempo de almacenamiento.

Siguiendo con el análisis integrador y al contar en estos momentos con los resultados de las figuras 5, 6 y 7 (descritos en párrafos anteriores) y en correspondencia con Czabator (1962), quien demostró que la tasa de germinación (velocidad germinativa) se relaciona positivamente con una rápida emergencia en el campo y con el desarrollo de las plántulas, se puede

considerar que aunque no se apreció un comportamiento categóricamente definido, el vivero a pleno sol es el ambiente de siembra donde mejor se expresa el vigor, por lo que se obtiene una emergencia más evidente y temprana.

Por otro lado, todo parece indicar que las condiciones de la cabina no son las más propicias para una mejor y más real expresión del vigor. En este sentido, es oportuno destacar que dentro de las regulaciones internacionales de ISTA (1999) y AOSA (1992) no aparecen las especificaciones en *A. lebeck* para la prueba en condiciones controladas, ni en otras especies arbóreas del trópico y de las zonas áridas. Las condiciones de la cabina en los experimentos de esta tesis (descritas en el experimento 1, capítulo III) se adaptaron de acuerdo con las que se han establecido para otros árboles leguminosos.

Uno de los objetivos de este análisis integrador se basa en nuestros criterios de que la integración no debe ser mecánicamente aditiva, sino cualitativa, interactiva y generativa, lo que se ha tratado de lograr en los párrafos anteriores.

Siguiendo estos criterios y al valorar la posible influencia de algunos factores climáticos en los resultados, además de los estudios previos que aparecen en la literatura internacional (Dalling y Hubbell 2002; Otegui et al. 2005; Trossero et. al. 2005 y Mari y Neiff 2006), en los cuales se comprobó la importancia de las siembras en condiciones a plena luz en la emergencia y supervivencia de plántulas y, por lo tanto, en la expresión más objetiva del vigor, se decidió profundizar en la influencia de los elementos del clima en el vivero a pleno sol en un experimento no incluido en esta tesis (Navarro y Febles 2008). Para ello se empleó el análisis de componentes principales (ACP) en el que los resultados mostraron la alta preponderancia de la temperatura máxima, la temperatura mínima, la humedad relativa, las precipitaciones y las tres variables biológicas (parámetros de Weibull) a través de los factores 1 y 2 del ACP, que explicaron el 79% de la variabilidad.

A lo anterior se une que, obviamente, en el vivero a pleno sol hay más luz, cuya importancia en el proceso de emergencia ha sido indicada por Gutterman (1993), Kigel (1995) y Tobe et al. (2000).

En la literatura disponible existe cierta información que relaciona algunos factores bióticos y abióticos en los procesos de germinación, emergencia y elongación de la plántula (Carberry y Campbell 1989; Probert 2000; Page et al. 2006; van Klinken et al. 2006). No obstante, se conoce el papel preponderante de la temperatura que sería adecuado plantear.

Bewley y Black (1994), Aráoz et al. (2004), Benech-Arnold y Sánchez (2004) y Leon et al. (2004) aseguraron que en el trópico las fluctuaciones de temperatura son necesarias para la emergencia de plántulas, lo cual también lo demostró Teketay (1996b) al estudiar los



requerimientos para la estimulación de la germinación de 12 especies de árboles multipropósito en zonas tropicales. Se conoce que la temperatura altera el porcentaje, velocidad y uniformidad de la emergencia, y está relacionada con los procesos bioquímicos (Nikolaeva 1977; Nikolaeva y Antipova 1986; de Menezes et al. 2004).

Otro aspecto que no se debe de obviar es la temperatura del suelo, debido a que las condiciones de interperismo a la que estaba sometido el vivero a pleno sol provocó ascensos en la temperatura del sustrato. La temperatura del sustrato, modificada por la temperatura ambiente, incide significativamente en la tasa de germinación y emergencia; Hernández et al. (1996) ejemplifican este comportamiento en *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz. A conclusiones más recientes arribaron de Menezes et al. (2004) y Page et al. (2006).

Por otro lado, las lluvias eventuales pueden ablandar las capas de las cubiertas seminales, lo que permite la entrada del agua disponible (Bradford 2006), y su acción está estrechamente relacionada con la temperatura del sustrato (Bewley y Black 1982; Fairbrother 1991; Norman et al. 2002; van Assche et al. 2003).

Toda esta discusión no puede ser valorada categóricamente, una discusión más allá de la necesaria puede conducir a un exceso de especulaciones. Así, existen evidencias no muy recientes (Naylor y Jana 1976) que informan la relación entre los factores ambientales y las variaciones genéticas.

Un resultado de importancia de esta tesis y que pudiera apoyar algunas de las consideraciones anteriores es el hecho de que en el vivero a pleno sol, en la evaluación a 6 mdia se reflejan los mejores resultados de los parámetros biológicos de la ecuación de Weibull. Esta evaluación puntual coincide con los mayores valores de temperatura ambiente (figura 1) y de precipitación durante el período experimental (Anon 2008). En esta dirección, y según El-Kassaby et al. (1992) ello significa que las semillas a 6 mdia no sólo germinan más rápido sino que, al mismo tiempo, tienen mayor emergencia, lo cual es obviamente ventajoso para el establecimiento de las plántulas de albizia en las condiciones del campo. Por lo tanto, este análisis global indica un grado de vigor alto en las semillas de *A. lebbeck*, en comparación con las restantes evaluaciones, cuando se siembra a los 6 mdia en viveros a pleno sol.

No se debe dejar de mencionar el conjunto de interacciones que se encontraron a lo largo de este experimento, cuyas explicaciones biológicas son en ocasiones complejas y difíciles de explicar. Las mismas están dadas por las relaciones que se crean entre las condiciones de siembra (pueden considerarse factores externos), y los tiempos de almacenamiento que se valoran como factores internos. Estas consideraciones están apoyadas por el contenido del anexo 1, cuya complejidad es evidente.

Además, los gérmenes recién germinados que comienzan a transformarse en plántulas son muy vulnerables. Según Baskin y Baskin (1998) y Baskin et al. (2006a), una vez que se inicia la emergencia, el estrés por agua, luz y temperatura puede ser fatal; es por ello que propiciar a las semillas de *A. lebeck* las mejores condiciones posibles durante el proceso germinativo y la emergencia, es crucial para el éxito de la plantación.

#### IV.2 Experimento 4. Estimación del vigor de las semillas a partir de determinaciones biológicas durante la prueba de emergencia.

**Objetivo:** Estudiar el vigor de las semillas de *A. lebeck* mediante la integración de indicadores de la germinación y la emergencia.

##### IV.2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

###### IV.2.1.1 Diseño experimental y tratamientos

Para el estudio de las variables medidas durante la emergencia de plántulas en cada tratamiento presiembra en el vivero a pleno sol, se empleó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (6 x 13), en el que los factores estuvieron determinados por los métodos presiembra (6) y los tiempos de almacenamiento (13); en cada uno de los métodos y evaluaciones se emplearon 400 semillas, distribuidas en cuatro repeticiones (ISTA, 1999). La frecuencia de evaluación fue a 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 mdia y en cada una se realizaron las determinaciones correspondientes (variables), a través de conteos diarios durante 21 días; el riego fue a saturación.

Antes de la siembra se procedió a la aplicación de diferentes métodos de escarificación para acelerar los indicadores biológicos estudiados (tabla 8) y además se mantuvo un control, en el que las semillas no recibieron ningún tratamiento presiembra.

Tabla 8. Métodos de escarificación empleados antes de la siembra en el vivero a pleno sol.

Método	Procedimiento
Ácido	Exposición a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 96% de concentración durante 15 minutos
Agua caliente	Inmersión en H <sub>2</sub> O a 80°C durante 3 minutos
Remojo	Inmersión en H <sub>2</sub> O a temperatura ambiente durante 24 horas
Pinchazo	Pinchazo con aguja entomológica región dorsiventral de la semilla
Corte de cubierta	Corte ligero de la cubierta seminal en la zona opuesta al embrión
Control	-

#### IV.2.1.2 Procedimientos

Se desarrolló un procedimiento original e integrado para la evaluación del vigor de las semillas, generado por las mediciones realizadas en el vivero durante la emergencia de plántulas, que consiste en:

1. Seleccionar las variables que aparecen descritas posteriormente, relacionadas con el vigor según el criterio aislado de diversos autores.
2. Caracterizar el comportamiento de los métodos presiembra más adecuados (tabla 8).
  - a. Evaluar cada variable, en un momento inicial (0 mdia) y durante 12 meses subsiguientes. El primero representa el inicio del almacenamiento (semillas recién cosechadas) y los posteriores el período de almacenaje en condiciones ambientales no controladas, período en el cual es de interés evaluar la eficiencia de los tratamientos presiembra y su relación con el vigor de las semillas.
  - b. Comparar los cambios ocurridos en el vigor (calidad) durante el almacenamiento de las semillas a partir de las variables valoradas.
3. Para el análisis integral de los resultados (estimación del vigor) se utilizó el modelo estadístico propuesto por Torres et al. (2007).

#### Variables relacionadas con el vigor.

Las variables se seleccionaron a partir del criterio disperso de diferentes autores sobre la relación de cada una de ellas con la expresión del vigor de las semillas; y se interpretaron a partir de los registros diarios de la emergencia de plántulas en el vivero a pleno sol.

- a) Días para el inicio de la emergencia (IE) (Edwards 1980)
- b) Porcentaje de emergencia final para el período de la prueba (Emer) (Perry 1984)
- c) Día pico: día en el que se observó la mayor cantidad de plántulas (DP) (Murillo 1998)
- d) Emergencia pico: porcentaje máximo de emergencia en un mismo día (EP) (Murillo 1998).
- e) Valor de la germinación (VG) según la fórmula de Djavanshir y Pourbeik (1976).

$$VG = \left( \sum_{i=1}^n Ved_i \right) \left( \frac{Ef}{10N} \right)$$

Donde,

Ved = velocidad de emergencia diaria, calculada como el porcentaje de la emergencia acumulada entre el número de días desde el inicio de la prueba.

N = frecuencia o número de Ved que se calcularon durante la prueba.

Ef = porcentaje de la emergencia de plántulas al final de los 21 días de la prueba.

- f) Energía de germinación (Ener), tipificada por el valor más alto de la velocidad de emergencia diaria durante la prueba (Czabator 1962).

g) Tasa de emergencia (TE) expresada en %emergencia  $d^{-1}$  (El-Kassaby et al. 1992)

#### **IV.2.1.3 Procesamiento estadístico de los resultados**

Para el procesamiento de la información obtenida se utilizó el modelo estadístico propuesto por Torres et al. (2007), según el cual se desarrollaron los siguientes pasos:

- a. Con los datos obtenidos de las evaluaciones en el vivero durante un año se construyó la matriz de datos a procesar.
- b. Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados, utilizando la matriz de correlación.
- c. Identificación y selección del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor
- d. Clasificación de las evaluaciones (tiempos de almacenamiento) según los métodos de escarificación presiembra, según los criterios:
  - o Índice de eficiencia
  - o Formación de los grupos

Los resultados que se obtuvieron al desarrollar los cuatro pasos anteriores permitieron definir los grupos de vigor alto y bajo para cada método presiembra en particular.

### **IV. 2. 2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la discusión de este experimento se tratará de relacionar los resultados de la técnica estadística empleada y la explicación de los resultados biológicos alcanzados a través de ella. Sin embargo, se necesita precisar que el procedimiento estadístico es original en su conjunto para el caso particular de la estimación del vigor, por lo que en la literatura nacional e internacional no se apreciaron antecedentes. A esto se une que las diferentes variables biológicas consideradas en la expresión del vigor, provienen de criterios aislados de un conjunto de autores. Para tratar de lograr una mejor comprensión, la discusión se desarrollará según los cuatros pasos del epígrafe IV.2.1.3 que refleja la adecuación del método desarrollado por Torres et al. (2007).

#### **IV.2.2.1 Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados**

Las premisas a verificar fueron analizadas. La primera relacionada con la matriz de datos se cumple, pues la dimensión es de 13 x 7, es decir, el número de variables en estudio (7) es menor que el número de evaluaciones durante el almacenamiento (13). La segunda correspondiente a la matriz de correlación, indicó cierto grado de correlación dado los porcentajes de coeficientes superiores a 0,40 en cada método presiembra (anexo 3).

Del análisis realizado en los 12 meses del período de almacenamiento para definir los componentes principales obtenidos de la correspondiente matriz de correlación, se observó que los valores propios y la varianza explicada evidencian que, en cada método de escarificación, el 85% de la variabilidad total fue explicada por los dos primeros componentes principales (tablas 9 y 10).

Desde el punto de vista biológico este resultado indica que en los métodos presiembra evaluados a través de las siete variables en estudio, la variabilidad fue superior al 85% cuando se agruparon la mayoría de ellas en los dos primeros componentes principales. Según Obis (1998) y Navarro y González (2001) esto se interpreta en el sentido de que se llevó a cabo una selección acertada de las variables que pudieran estar relacionadas con el vigor.

#### **IV.2.2.2 Identificación del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor**

Los resultados para los dos tipos de escarificación estudiada se ofrecen en las tablas 9 y 10.

Se destaca que, la tasa de emergencia aparece en todos los tratamientos empleados incluyendo el control. Dicho comportamiento indica que la tasa de emergencia es un indicador de considerable importancia para la estimación del vigor; lo cual concuerda con Torres y Santos (1994), Hartmann y Kester (2000), Copeland y McDonald (2001) y Laskowski y Bautista (2002). Esto se debe a que puede ser un factor adverso en el aspecto agrícola, ya que no permite lograr simultáneamente una población uniforme de plantas en cuanto a tamaño y calidad.

Todo lo anterior tiene relación con algunos resultados del experimento 2, ya que los métodos presiembra empleados en el tiempo fueron importantes en el proceso de germinación y emergencia, que son procesos cuyas expresiones se estudian en este experimento. Por otro lado, no se debe aplicar el criterio de eliminar variables de manera definitiva, en estudios subsiguientes, puesto que un análisis de las tablas 9 y 10 indica que las que aparecen en los componentes 1 y 2 fueron de 71% del total en la escarificación húmeda y de 100% en la seca (incluye el control), al considerar valores de preponderancia mayores e iguales a 0,90 (anexo 4).

##### Selección de las variables

##### *Escarificación húmeda*

Cuando se empleó el ácido sulfúrico como método de escarificación húmeda se obtuvo que en la componente principal 1, con una varianza explicada de 62,7%; se destaca de igual manera las variables: emergencia, energía y tasa de emergencia. En la segunda componente las variables inicio de emergencia y día pico resultaron también importantes (tabla 9).

Para el agua caliente la componente 1 explica el 73,6% de la variabilidad total. Las variables más importantes para la componente 1 (CP1) resultaron ser: emergencia, emergencia pico y tasa de emergencia; y para la componente 2 (CP2) valor de germinación y energía.

En la componente 1 del método de remojo sobresalieron la emergencia y la tasa de emergencia, y en la segunda, únicamente el inicio de la emergencia.

Tabla 9. Varianzas explicadas y valores de peso de las variables en las componentes principales extraídas.

Variable	Ácido		Agua		Remojo	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Inicio de germinación (días)	0,01	<b>0,98</b>	0,57	0,60	0,03	<b>0,90</b>
Emergencia (%)	<b>0,95</b>	0,24	<b>0,93</b>	0,32	<b>0,98</b>	0,04
Día pico (días)	0,15	<b>0,97</b>	0,57	0,74	0,43	0,77
Emergencia pico (días)	0,89	0,31	<b>0,97</b>	0,22	0,84	0,04
Valor de germinación	0,84	-0,29	0,24	<b>0,90</b>	0,77	-0,55
Energía de germinación (%/días)	<b>0,95</b>	-0,09	0,21	<b>0,96</b>	0,45	-0,87
Tasa de emergencia (%/días)	<b>0,95</b>	0,24	<b>0,93</b>	0,32	<b>0,98</b>	0,04
<b>Valor propio</b>	4,39	2,08	5,15	1,15	3,70	2,35
<b>% varianza explicada</b>	62,73	29,68	73,61	16,49	52,82	33,55
<b>% varianza acumulada</b>	62,73	92,41	73,61	90,11	52,82	86,37

Tabla 10. Varianzas explicadas y valores de peso de las variables en las componentes principales extraídas para la escarificación seca y el control

Variables	Pinchazo		Corte		Control	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Inicio de germinación (días)	-0,07	<b>0,98</b>	-0,12	<b>0,97</b>	-0,32	<b>0,90</b>
Emergencia (%)	<b>0,98</b>	0,08	<b>0,98</b>	0,03	<b>0,99</b>	-0,02
Día pico (días)	0,01	<b>0,99</b>	-0,11	<b>0,99</b>	0,13	<b>0,96</b>
Emergencia pico (días)	<b>0,97</b>	-0,10	<b>0,92</b>	-0,19	<b>0,91</b>	-0,12
Valor de germinación	<b>0,98</b>	-0,10	<b>0,94</b>	-0,25	<b>0,97</b>	-0,04
Energía de germinación (%/días)	<b>0,99</b>	-0,12	<b>0,93</b>	-0,32	<b>0,96</b>	-0,21
Tasa de emergencia (%/días)	<b>0,98</b>	0,08	<b>0,98</b>	0,03	<b>0,99</b>	-0,02
<b>Valor propio</b>	4,83	1,97	4,83	1,83	4,90	1,67
<b>% varianza explicada</b>	68,99	28,13	68,99	26,09	69,97	23,89
<b>% varianza acumulada</b>	68,99	97,13	68,99	95,09	69,97	93,86

#### *Escarificación seca y control*

La determinación de la variabilidad de los indicadores del vigor de las semillas (tabla 10), indicó que al escoger dos componentes se explica el 97,13; 95,09 y 93,86% de dicha variabilidad para los tratamientos pinchazo, corte de cubierta y control, respectivamente.

Las variables seleccionadas en la CP1 en los tres tratamientos presiembra fueron emergencia, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia, con valores muy similares y en la CP2 inicio de emergencia y día pico.

Debido a que las variables mencionadas para cada método presiembra y el control (tablas 9 y 10) son las que más varían, en términos numéricos, se puede afirmar que a través de su análisis se puede estimar el vigor de las semillas.

#### **IV.2.2.3 Clasificación de los tiempos de almacenamiento para cada método de escarificación presiembra**

Para conocer la importancia y eficiencia del comportamiento global de las variables para cada tiempo de almacenamiento, independientemente del método de escarificación, se decidió que el estadístico denominado “índice de impacto” por Torres et al. (2007) se debe interpretar como índice de la eficiencia de las variables evaluadas en los tiempos de almacenamiento, en su relación con la variabilidad del vigor. El índice de eficiencia fortalece y amplía la concepción y los resultados de este trabajo en la estimación del vigor. En él se crea una combinación de los tiempos de almacenaje evaluados dentro de cada método presiembra. Este índice depende de las variables de mayor preponderancia (tablas 9 y 10) y los valores positivos más altos indican cuáles tienen más influencia en cada tiempo de almacenamiento particular para cada método presiembra estudiado. Los valores más altos negativos indican lo contrario.

##### **IV.2.2.3.1 Índices de eficiencia**

Las tablas 11 y 12 muestran la eficiencia de cada una de las dos componentes seleccionadas en las variables para la estimación del vigor, cuando las semillas se siembran a diferentes tiempos de almacenamiento.

Para explicar cada caso hay que referirse también a la selección de las variables que aparecen en las tablas 9 y 10, en las que se aprecia que en la escarificación seca las mismas variables estuvieron representadas tanto en la CP1 como en la CP2.

#### *Escarificación húmeda*

Según los índices de eficiencia en el método del ácido, a 4 mdia las variables emergencia, energía y tasa de emergencia fueron más eficientes, o sea, que en esta evaluación es donde

mejor se expresaron las variables de la CP1, sin subestimar los valores que aparecen a 9 y 11 mdia; mientras que en 6 y 7 mdia fue donde peor se expresaron.

En la CP2 de este método el análisis se debe hacer a la inversa y, por lo tanto, las mejores variables fueron más eficientes a 1, 2, 4 y 8 mdia.

Esto se debe a que resulta más conveniente para el éxito de la siembra que la emergencia comience lo más tempranamente posible y, a su vez, que la mayor cantidad de plántulas logren emerger en el menor tiempo, lo que ha sido informado por Forcella et al. (2000) y Guretzky et al. (2004). Valores altos para las variables inicio de emergencia y día pico se consideran como efectos indeseables, tal y como aparentemente sucedió a 0, 7 y 9 mdia.

En el método del agua caliente se observó que las variables que tipifican la CP1 (ver tabla 9) mostraron el mayor efecto positivo sólo a 9 mdia, al igual que a 0 y 4 mdia para la CP2; mientras que en esta misma componente fue negativo para 9 mdia, en este tiempo de almacenaje fue donde peor se expresaron las variables de la CP2 (valor de germinación y energía). Es necesario recordar que los resultados del experimento no favorecieron a ninguno de estos dos métodos presiembra, debido a que en el caso particular de este estudio se comportan como pretratamientos agresivos que afectan, probablemente, el embrión.

En el remojo no ocurrió exactamente así. En este caso, los tiempos de almacenaje en que mejor se expresaron la emergencia y la tasa de emergencia (CP1) fueron 1, 3 y 4 mdia, destacándose 3 con el índice más alto, y en la peor situación se encontraron 9 y 12 mdia; mientras que a 3 mdia, según el índice de eficiencia, se exhibió el valor más negativo para el inicio de la emergencia (CP2), pero esto es biológicamente beneficioso, pues a mayor número de días es menor el retraso para el inicio de la emergencia.

Aunque en el remojo el análisis de componentes principales sólo identificó tres variables esto no constituye una deficiencia del método, ya que las tres están vinculadas con medidas trascendentes en relación con el desarrollo y crecimiento de las plántulas. Obviamente, la emergencia es una manifestación del vigor de las semillas y si a ello se une la tasa de emergencia, se presupone que las plántulas emergen a un ritmo más rápido, lo cual se maximiza en aquellas plántulas que logran emerger en el menor tiempo; esto coincide con los criterios de Salinas et al. (2001) y Valadez-Gutiérrez et al. (2007).

Como se expresó anteriormente, no se puede obviar que en el control todas las variables estudiadas estuvieron distribuidas entre las dos componentes (tabla 10), lo que puede ser indicativo de que por el efecto negativo del ácido y el agua caliente se afectó el comportamiento de las variables emergencia pico y valor de germinación para el método del ácido, y para el agua caliente las variables día pico y tasa de emergencia. El hecho de que estas variables no



influyeran en el tiempo de almacenamiento puede ser un indicativo del deterioro de la calidad y, por ende, del vigor de las semillas; similar afirmación fue realizada por Mandal et al. (2000) y Rajasekaran et al. (2005). Estos indicadores son esenciales en los procesos de germinación, emergencia y desarrollo, por lo cual deben tener una lógica correspondencia con el comportamiento de las siembras en el campo.

Tabla 11. Eficiencia de las variables relacionadas con el vigor.

Almacenamiento (mdia)	Matriz eficiencia					
	Acido		Agua		Remojo	
	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2
0	0,01	1,22	0,63	1,43	0,10	0,84
1	-0,94	-1,25	-0,48	-0,42	1,24	0,21
2	-0,43	-1,12	-0,48	-0,36	0,05	0,00
3	-0,67	0,11	-0,65	-0,72	1,64	-2,00
4	2,10	-1,23	0,58	2,15	1,47	0,39
5	-0,98	-0,50	-0,65	-0,72	0,28	0,95
6	-1,09	0,57	-0,18	0,08	0,33	0,82
7	-1,09	1,08	-0,03	0,35	-0,59	0,48
8	-0,14	-1,45	-0,07	0,88	-0,57	-0,98
9	0,91	1,26	2,99	-1,41	-1,59	-1,82
10	0,62	0,45	-0,38	0,20	-0,40	-0,18
11	0,94	0,12	-0,65	-0,72	-0,73	0,42
12	0,75	0,73	-0,65	-0,72	-1,23	0,89

#### *Escarificación seca y control*

En cuanto a la manifestación del vigor, el pinchazo y el corte fueron menos agresivos que el ácido y el agua caliente; anteriormente se explicó la forma en que ambos métodos pueden contribuir al comportamiento de la germinación y la emergencia, todo lo cual se refleja en los resultados que se ofrecen en la tabla 12.

Al valorar esta tabla, se observa que para las variables que tipifican la CP1 existió un comportamiento positivo al sembrar las semillas que recibieron un pinchazo a 3 mdia, e igualmente positivos resultaron las siembras a 0, 5 y 9 mdia para los indicadores seleccionados en la CP2, no así para 2 y 4 mdia, evaluaciones en las que fue negativo.

En el caso del corte de cubierta, 2 y 3 mdia fueron los tiempos de almacenamiento donde mejor se expresaron las variables de la CP1 y a 5 mdia las de la CP2; los peores valores se

encontraron a 8 mdia (CP1) y a 3, 4 y 8 mdia en las variables inicio de emergencia y día pico (CP2).

En el tratamiento control los mejores valores correspondieron a 3, 4 y 6 mdia para las variables mejor representadas en la CP1; mientras que para la CP2 fueron 5 y 9 mdia los tiempos de almacenamiento más relacionadas positivamente y los más negativos 2, 8 y 10 mdia.

Los resultados pueden tener una correspondencia con los del experimento 2 donde el corte mostró alta eficacia en la superación de los estados dormantes.

Tabla 12. Eficiencia de las variables relacionadas con el vigor

Almacenamiento (mdia)	Matriz de eficiencia					
	Pinchazo		Corte		Control	
	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2
0	0,08	1,05	-0,80	0,34	-0,93	-0,43
1	0,70	0,50	0,55	0,96	0,52	0,32
2	-0,42	-2,14	1,16	-0,19	0,81	-1,28
3	2,73	-0,64	2,54	-1,16	1,37	-0,91
4	-0,37	-1,05	-0,37	-1,15	1,11	0,67
5	-0,67	1,12	-0,54	1,31	-0,57	1,81
6	0,79	0,71	0,26	0,79	1,45	0,81
7	0,55	0,31	0,24	0,92	0,73	-0,05
8	-0,80	-0,59	-1,31	-1,91	-0,72	-1,26
9	-0,65	1,41	-0,27	0,91	-0,98	1,05
10	-0,81	-0,59	-0,81	-0,68	-1,08	-1,37
11	-0,52	-0,13	-0,22	-0,35	-0,75	0,55
12	-0,61	0,02	-0,44	0,21	-0,97	0,09

Alrededor del valor del índice de eficiencia positivo más alto, que se corresponde con un tiempo de almacenamiento determinado, deben estar los otros tiempos que pueden presentar un comportamiento similar y aceptable del vigor. Para verificar esta consideración hay que hacer un análisis de conglomerados, que debe agrupar los tiempos de almacenaje según el mejor o peor comportamiento de las variables. A partir de aquí se conforman grupos donde se apreciará cómo es la expresión de estas variables en cada grupo. A este nivel el investigador puede tener más probabilidad de elegir, de manera global y más integral cuál tratamiento presiembra específico debe dar a o no a sus lotes de semillas, con un mayor grado de confiabilidad y lógica

por la relación de esta selección con el vigor. Cada uno de estos pasos se ofrecerá a continuación.

#### **IV.2.2.3.2 Formación de los grupos**

A partir de los índices de eficiencia que aparece en las tablas 11 y 12, en cada método presiembra se procedió a analizar la existencia de tiempos de almacenamiento con comportamientos similares, para que las respuestas a los métodos presiembra fueran lo más eficaces y eficientes posible en la estimación del vigor de las semillas.

En el proceso de aglomeración en cada método presiembra se decidió realizar el corte para un valor determinado del coeficiente de disimilitud, el cual se muestra en la tabla 13, dando lugar a la clasificación del período de almacenamiento (evaluaciones) y la formación de los grupos.

Para decidir el corte se examinó el historial de conglomeración y se aplicó la regla de seleccionar el coeficiente cuando los valores sucesivos entre los pasos de la conglomeración dieron un salto súbito. La representación espacial del coeficiente de disimilitud es lo que se conoce como dendrograma y según (Hair et al. 1999) es un estimador cuantitativo que describe el grado de asociación o semejanza entre los elementos comparados.

##### *Escarificación húmeda*

Como se observa en la tabla 13, en el caso del ácido, en un primer grupo se agrupan cinco tiempos de almacenamiento (0, 9, 10, 11 y 12 mdia), en el segundo 1, 2 y 8 mdia y en el tercero 3, 5, 6 y 7 mdia. Además, se encontró un tiempo de almacenamiento que no pertenece a ningún grupo (4 mdia), lo cual evidencia que no tiene características similares que hagan posible su inclusión en alguno de los tres primeros que se formaron.

En el agua caliente, en el primer grupo se unen 0 y 4 mdia, en el segundo se agrupan 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11 y 12, y en el tercero sólo aparece la evaluación realizada a 9 mdia.

De los cuatro grupos que se formaron para el remojo, solo en los dos primeros aparecen conjuntos de tiempos de almacenamiento, pues en el III y IV se encontraron 3 y 9 mdia.

##### *Escarificación seca y control*

Para los métodos presiembra pinchazo, corte y control, en ese mismo orden se formaron cuatro, cinco y cuatro grupos similares (tabla 13).

En el grupo I para el pinchazo se unieron 0, 1, 5, 6, 7 y 9 mdia; el IV estuvo compuesto por 4, 8, 10, 11 y 12 mdia, y a II y III sólo pertenecían 2 y 3 mdia, respectivamente.

En los cinco grupos que se formaron con el análisis de conglomerados para el corte de cubierta, se encuentran el I para 0, 1, 5, 6, 7, 9 y 12 mdia, el IV que incluye a 4, 10 y 11 mdia y; 2 y 3 mdia que se corresponden con II y III, respectivamente.

En el tratamiento control los grupos similares que fueron formados aparecen en la tabla 13. En I se agruparon 0, 8 y 10 mdia; en el II las evaluaciones 1, 4, 6 y 7 mdia; mientras que en III se aglomeraron los tiempos de almacenamiento 2 y 3 mdia, y en IV lo hicieron 5, 9, 11 y 12 mdia.

Tabla 13. Grupos formados por el análisis Cluster para cada método presiembra

Método presiembra	Coefficiente de disimilitud	Grupos formados	Evaluaciones (mdia)
Ácido	1.29	I	0, 9, 10, 11 y 12
		II	1, 2 y 8
		III	3, 5, 6 y 7
		IV	4
Agua caliente	1.30	I	0, 4
		II	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11 y 12
		III	9
Remojo	1.89	I	0, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12
		II	1 y 4
		III	3
		IV	9
Pinchazo	1.86	I	0, 1, 5, 6, 7 y 9
		II	2
		III	3
		IV	4, 8, 10, 11 y 12
Corte de cubierta	1.16	I	0, 1, 5, 6, 7, 9 y 12
		II	2
		III	3
		IV	4, 10 y 11
		V	8
Control	1.83	I	0, 8 y 10
		II	1, 4, 6 y 7
		III	2 y 3
		IV	5, 9, 11 y 12

#### IV.2.2.4 Definición de los grupos de vigor

Los valores promedio y las desviaciones estándar de las variables relacionadas con el vigor (anexo 5), para cada grupo, se presentan en las figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

Para la elección de los mejores grupos donde se exprese más eficientemente el vigor, se seleccionó aquel o aquellos en que existía mejor comportamiento global en las variables que aparecían con mayor preponderancia en la componente principal 1 para cada método de escarificación. Igualmente, hasta donde sea posible, se tratará de relacionar e interpretar, en conjunto, las distintas partes contenidas en la metodología de este capítulo, es decir, los cuatro pasos que se especifican en el epígrafe IV.2.1.3.

#### Ácido

En la evaluación a 4 mdia (grupo IV) se presentaron los promedios más altos para las variables: valor de germinación, emergencia, energía y tasa de emergencia (figura 8 y anexo 5). Además, de acuerdo con los resultados de la tabla 11 el valor más alto positivo del índice de eficiencia se registró justamente a 4 mdia.

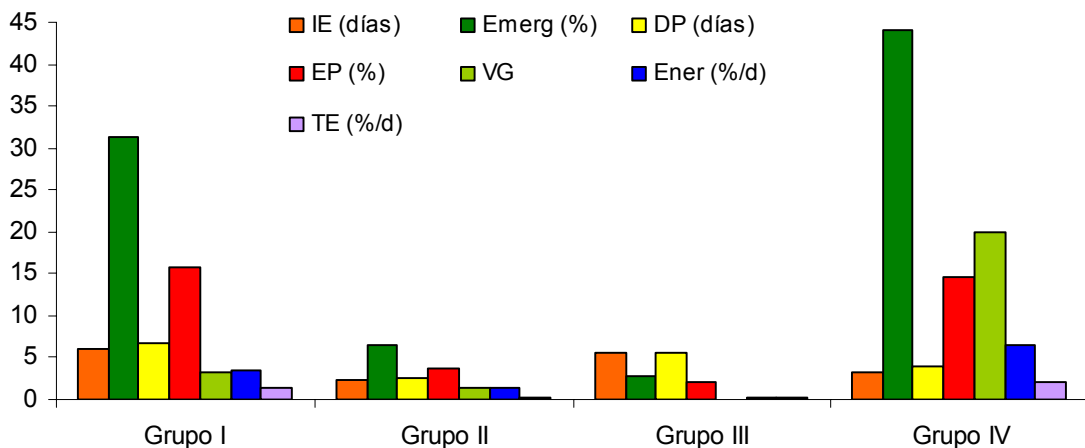


Figura 8. Valores promedio de las siete variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método de escarificación con ácido.

Es importante señalar como el análisis realizado permitió determinar que cuando se aplica  $H_2SO_4$  como tratamiento presiembra en semillas con 4 mdia, se expresa el vigor más alto.

No obstante, este criterio pudiera ser demasiado rígido y probablemente sería conveniente flexibilizar este concepto y valorar otro u otros grupos que se acerquen al mejor, de acuerdo con el comportamiento de las variables que aparecen en las componentes 1 y 2 y con el índice de eficiencia. De acuerdo con estas asunciones se puede valorar el grupo I que contempla los tiempos de almacenamiento 0, 9, 10, 11 y 12 mdia. Así las variables seleccionadas en el ACP

(tabla 9) en los grupos 1 y 4 (78% del total), se expresan relativamente superiores en los meses que aparecen en ambos grupos (figura 8 y tablas 11 y 13).

Esta interpretación se apoya en el análisis de los tiempos de almacenamiento incluidos en los dos grupos y en el índice de eficiencia. Aquí se notó que la mejor expresión de las variables fue a 4 mdia y en el 80% de los tiempos de almacenaje que se encuentran en la CP1 y/o la CP2.

#### Agua

En el grupo III se observaron los promedios mayores para: de emergencia, emergencia pico y tasa de emergencia, es decir, las semillas agrupadas aquí no sólo emergieron más, sino que lo hicieron más uniformemente y a un ritmo más alto (figura 9). Estas mismas variables fueron identificadas por el análisis de componentes principales como las que más variaron cuando las semillas recibieron tratamiento presiembra con agua caliente (tabla 9). También a 9 mdia se registró el índice de eficiencia más alto positivo para el método del agua caliente (tabla 11).

Los resultados conducen a afirmar que el vigor más alto correspondió a aquellas simientes que se sembraron a 9 mdia (grupo III), luego de permanecer tres minutos en agua a 80°C.

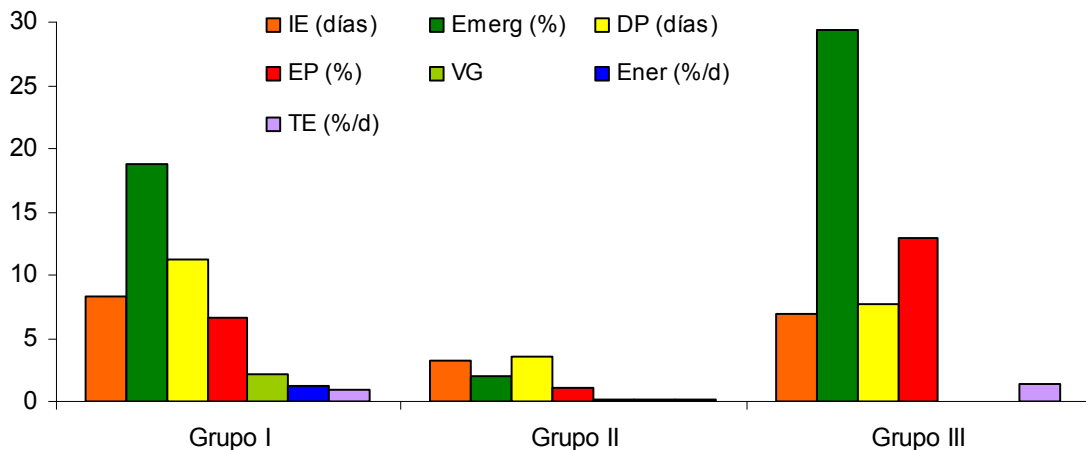


Figura 9. Valores promedios de las siete variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método de escarificación con agua caliente.

En el grupo II se agruparon las evaluaciones que, de conjunto, exhibieron los menores valores de inicio de emergencia, día pico y tasa de emergencia. Dicho comportamiento indica que las semillas aglomeradas en este grupo, iniciaron más rápido la emergencia y, a su vez, más tempranamente se registraron las máximas emergencias diarias. Sin embargo, ellas mismas mostraron el peor porcentaje de plántulas al final de la prueba (21 días), el menor porcentaje de plántulas emergidas en un mismo día y la menor tasa de emergencia. Estas tres últimas variables fueron las representadas en la CP 1 (tabla 9) y, a su vez, las evaluaciones que

comprende el grupo II mostraron valores negativos del índice de eficiencia (tabla 11). Por ello, el nefasto comportamiento en el grupo II lo identifica como el de peor expresión del vigor.

En el grupo I se encontraron los valores más altos para el inicio de la emergencia y el día pico; esto concuerda con lo obtenido para el grupo I del tratamiento con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y el efecto que representan ambos valores fue explicado anteriormente. No obstante, estas dos variables no fueron contempladas en las componentes principales extraídas (tabla 9). El grupo I registró el promedio más alto para el valor de la germinación y la energía (variables de la CP2) y dichas variables mostraron eficiencia en las evaluaciones 0 y 4 mdia (grupo I). Todo este razonamiento permite declarar al grupo I como aquel en que las semillas expresan el vigor medio.

### Remojo

El grupo III (3 mdia) presentó el máximo porcentaje de emergencia de plántulas, así como de valor de germinación, energía y tasa de emergencia (figura 10). En este tratamiento, a 3 mdia se logró expresar el vigor más alto de las simientes.

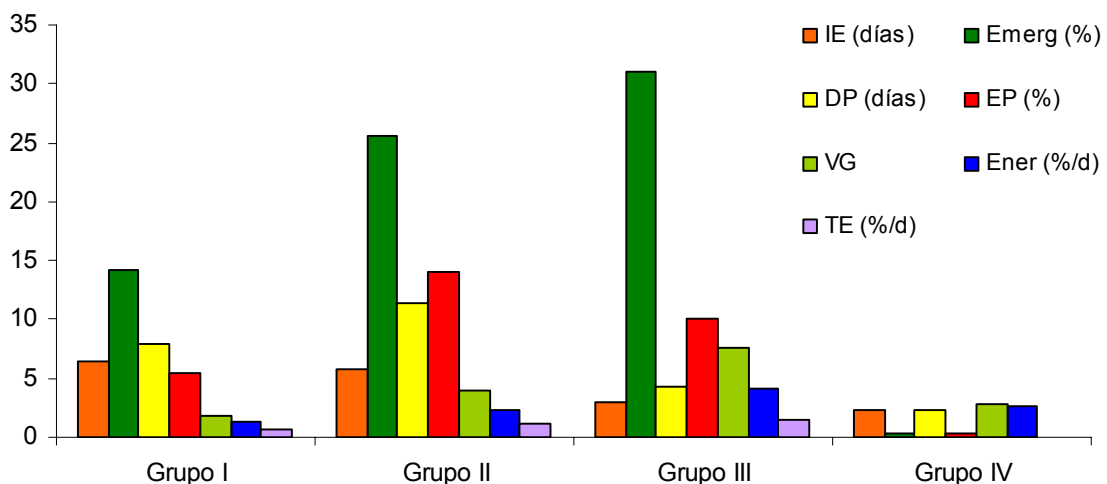


Figura 10. Valores promedio de las siete variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del remojo.

Con la intención de valorar otros grupos que se acercaron al que resultó el del vigor más alto, se analizó el grupo II al que pertenecen los tiempos de almacenamiento 1 y 3 mdia. En éste las dos variables seleccionadas en la CP 1 (tabla 9) mostraron valores relativamente cercanos a los del grupo III (vigor alto); mientras que 1 y 3 mdia fueron los tiempos de almacenamiento en los que, mejor se expresaron las variables de la CP1 (EfCP1), lo cual se observa en la tabla 11.

Por su parte, en el grupo IV (9 mdia) se inició más rápido la emergencia, pero el porcentaje de plántulas emergidas fue más bajo para el método del remojo y, a su vez, ocurrieron los peores valores promedio para emergencia pico y tasa de emergencia. Aparejado a ello, el índice de

eficiencia fue el más alto negativo a 9 mdia (tabla 11), lo que se manifestó en que las variables expresadas en la CP1 mostraron el peor comportamiento en dicha evaluación. De este análisis se deduce que el grupo IV es el de peor comportamiento para la expresión del vigor de las semillas en el método del remojo.

#### Pinchazo

Luego de la realización del análisis para la estimación del vigor, en el pinchazo se dedujo que las semillas a 3 mdia (grupo III) exhibieron el vigor más alto.

A 3 mdia pertenecían los valores más altos de las variables que fueron escogidas en la CP1 (figura 11 y tabla 10) y el valor positivo mayor del índice de eficiencia (tabla 13).

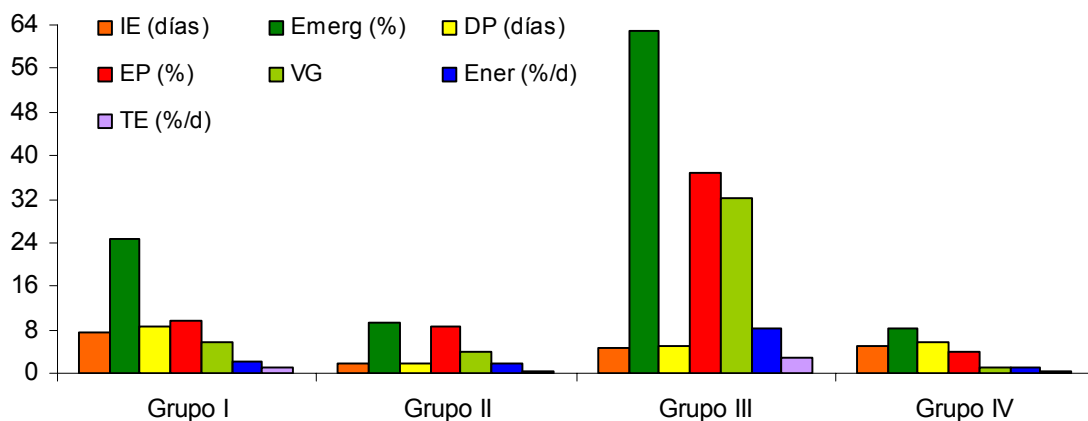


Figura 11. Valores promedio de las siete variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del pinchazo.

El grupo IV (figura 11) mostró los valores promedio más bajos para el porcentaje de emergencia, la emergencia pico, el valor de germinación y la energía, cuatro de las cinco variables identificadas en la componente 1 (tabla 10). En las evaluaciones comprendidas en el grupo IV se observaron índices de eficiencia negativos (EfCP1), lo que permitió decidir que en este grupo el vigor de las semillas expresó su peor comportamiento.

#### Corte de cubierta

Es importante señalar que el análisis matemático permitió determinar que cuando se realizó un corte en la cubierta seminal a los 3 mdia, el vigor de las semillas fue más alto. En III, al igual que en el mejor grupo del pinchazo (3 mdia), se exhibieron los mejores valores promedio de emergencia, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia (figura 12), las mismas variables que representaron la CP1 (tabla 10). En la tabla 12 se aprecia que justamente a 3 mdia se encontró el índice de eficiencia más alto positivo para EfCP1 y uno de los más altos negativos para EfCP2; en este último caso es ventajoso tal comportamiento,



puesto que como se ha explicado anteriormente las variables inicio de emergencia y día pico son más favorables a medida que sus valores son menores.

No obstante, decidir que 3 mdia fue la evaluación de vigor más alto constituye una aseveración rígida. Los resultados de la figura 12 y la tabla 12 conducen a valorar al grupo II (2 mdia); dicho grupo mostró los segundos mejores valores para las variables identificadas en la CP 1 (56% del total) y su expresión en el índice de eficiencia es semejante a la que exhibió 3 mdia.

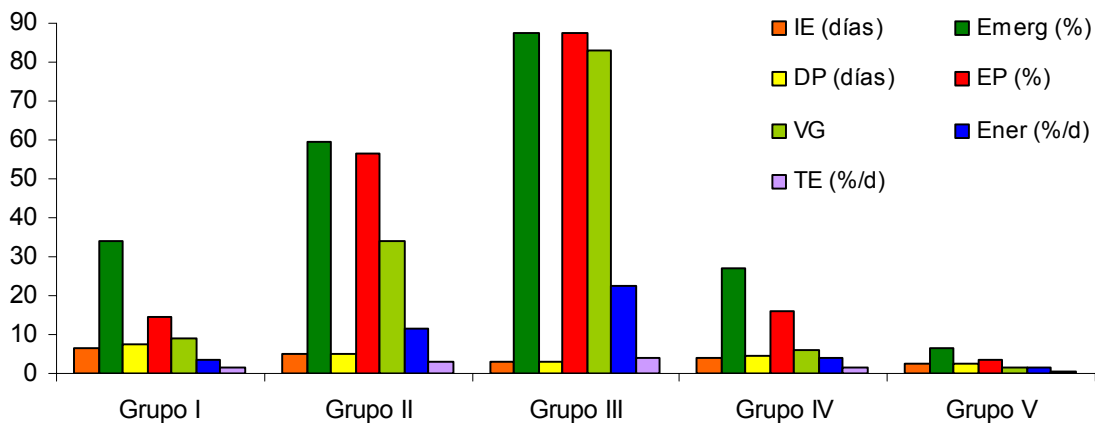


Figura 12. Valores promedio de las siete variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del corte de cubierta.

En IV se recogen los valores promedio más bajos de emergencia, día pico, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia; según la tabla 12 en dicha evaluación se registró el valor más alto negativo del índice de eficiencia, lo que indica el negativo comportamiento de las variables de la CP1 (tabla 10) en este tiempo de almacenamiento, por lo que el grupo IV se considera como el de peor vigor.

*Control*

En el grupo III estuvieron las evaluaciones en que las semillas, expresaron el vigor más alto. En este agrupamiento se encontraron los promedios más altos para el porcentaje de emergencia de plántulas, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia, al igual que el menor valor para el inicio de emergencia (figura 13), lo cual es un aspecto muy positivo. En sentido general, se puede plantear que en el grupo III (2 y 3 mdia) las siete variables relacionadas con el vigor y distribuidas entre la CP1 y la CP2 (tabla 10) mostraron el mejor comportamiento, lo cual también se refleja en la tabla 12. Es de resaltar que 3 mdia se correspondió con la evaluación en que se registró uno de los valores más altos positivos del índice de eficiencia (EfCP1) y, a la vez, un valor negativo considerablemente alto (cercano a 1) para la EfCP2; similar comportamiento para los índices de eficiencia se observó a 2 mdia.

No obstante, no deben descartarse los tiempos de almacenamiento 1, 4, 6 y 7 mdia, contenidos en el grupo II, puesto que los resultados apuntaron a dicho grupo como el de un comportamiento más cercano al III, no sólo por los promedios de las variables seleccionadas por el ACP, sino también por la eficiencia con que se expresaron en los tiempos de almacenamiento. El grupo II puede ser considerado como un grupo de vigor medio.

Por otra parte, el grupo IV (tabla 13) recogió las evaluaciones mínimas (figura 13) para el porcentaje de plántulas emergidas, el valor de la germinación, la energía y la tasa de emergencia, además del valor promedio más alto de la variable inicio de emergencia y día pico, que como se ha explicado reiteradamente constituyen elementos adversos para la plantación. Unido a ello, en la tabla 12 se muestra que las evaluaciones del grupo IV presentaron altos valores negativos para el índice de eficiencia en la CP1 (EfCP1) y altos positivos en la CP 2 (EfCP2). Las semillas evaluadas en los tiempos de almacenamiento (5, 9, 11 y 12 mdia) contenidos en este grupo mostraron el vigor más bajo para el método control.

Sin embargo, en el grupo I se observó que este agrupa el valor promedio menor de la emergencia pico y que las variables emergencia, valor de germinación, energía y tasa de emergencia presentaron valores muy cercanos a los del grupo IV. También el análisis del índice de eficiencia a 0, 8 y 10 mdia, tanto para la CP1 como la CP2 (tabla 12), mostró que el grupo I en cuanto al vigor de las semillas tuvo un comportamiento cercano al IV, considerado el de peor vigor para las semillas que no recibieron tratamientos presiembra.

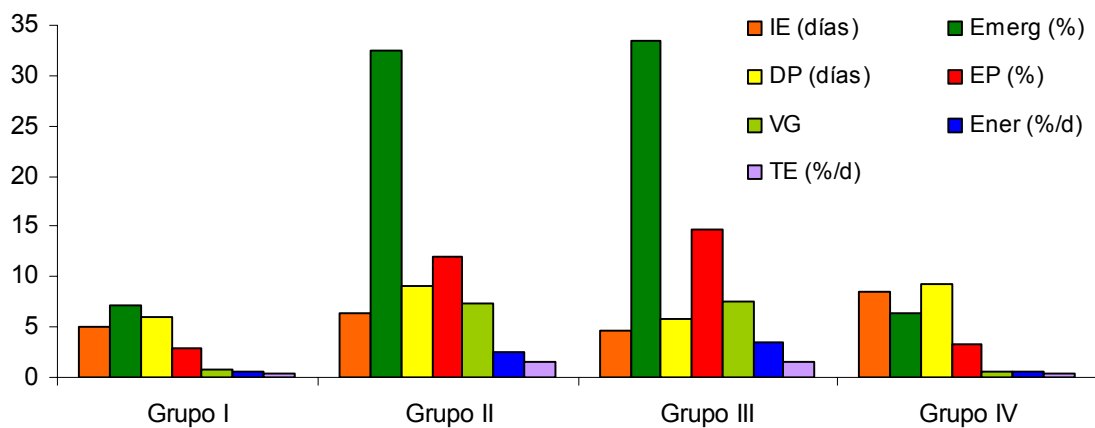


Figura 13. Valores promedios de las siete variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el control.

No se puede plantear categóricamente que el control sea una alternativa que pudiera inferirse de los resultados del experimento 2. Ello se debe a que en esta investigación los indicadores germinación y emergencia fueron desglosados en siete variables que caracterizan dichos

procesos. Por ello, se puede afirmar que para estimar el vigor de las semillas es necesario realizar un estudio integral de un grupo de variables biológicas con vista a garantizar una mayor precisión de los resultados.

Antes de concluir y para facilitar la interpretación de los resultados, se decidió dejar los elementos explicativos registrados en la literatura para el final y no ser redundantes.

La desuniformidad en la tasa de emergencia es un factor adverso en el aspecto agrícola, ya que no permite lograr a un mismo tiempo una población uniforme en cuanto a tamaño y calidad (Hartmann y Kester 2000; Laskowski y Bautista 2002).

La tasa de emergencia se relaciona positivamente con una rápida emergencia en el campo y con el desarrollo de las plántulas de muchas especies (Poulsen et al. 1998); mientras que la emergencia rápida es obviamente una ventaja para el establecimiento de las plántulas. La velocidad de germinación es, por lo tanto, una expresión del vigor de la semilla y según Schmidt (2000) se le denomina 'energía de germinación'.

El tiempo de emergencia muchas veces determina si una planta puede competir exitosamente con sus vecinos, si es consumida por los herbívoros, si es infestada por las enfermedades y si florece, se reproduce y madura apropiadamente al final de su etapa de crecimiento (Forcella et al. 2000); por consiguiente, una emergencia en períodos de tiempo cortos también es indicio de vigor alto en las semillas.

Si se desea hacer una extrapolación de estos resultados a otras especies, se debe tomar en consideración un grupo de elementos entre los que se encuentran la especie misma, el propósito que se persigue con ella, la edad de la semilla, la viabilidad del lote, el tipo de almacenamiento a que fue sometida, así como (y hasta donde sea posible) pruebas particulares que incluyan la expresión de todas las variables tenidas en consideración para la estimación del comportamiento y variabilidad del vigor

De acuerdo con estos análisis integrales se puede llegar a definir con mayor precisión, cuál o cuáles métodos pueden ayudar a expresar más eficientemente el vigor y, de esta forma, proceder en la técnica a seguir en las siembras y muestreos de esta especie. Así podemos valorar como positivos el método del remojo y el del corte de cubierta.

### **IV.3 Experimento 5. Estimación del vigor de las semillas a partir de determinaciones biológicas durante el crecimiento y desarrollo de plántulas**

**Objetivo:** Estudiar el vigor de las semillas de *A. lebeck* mediante la integración de indicadores del crecimiento y desarrollo de plántulas.

### **IV.3.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

Este experimento es una prolongación del anterior pero se dividió en dos partes para facilitar la interpretación, discusión, confrontación de la literatura y conclusiones.

#### **IV.3.1.1 Diseño experimental y tratamientos**

Coinciden con los referidos en el experimento 4.

#### **IV.3.1.2 Procedimientos**

Se relacionan en el experimento anterior, pero las mediciones para la evaluación del vigor se realizaron durante el crecimiento y desarrollo inicial de plántulas, por un período de 30 días.

##### *Variables relacionadas con el vigor.*

Todas las variables fueron medidas a los 30 días posteriores a la siembra, para lo cual se seleccionaron 10 plántulas en cada una de las cuatro repeticiones en cada evaluación (tiempo de almacenamiento) para cada método de escarificación presiembra:

- a) altura de la plántula (cm): se utilizó regla graduada
- b) largo sistema radicular (cm): se utilizó regla graduada
- c) longitud hipocótilo (cm): se utilizó pie de rey
- d) peso fresco del sistema radicular (g): se utilizó la balanza analítica con precisión de 0,001 g y los datos fueron expresados en g/plántula
- e) peso fresco de la parte aérea (g): ídem al anterior

#### **IV.3.1.3 Procesamiento estadístico de los resultados**

Coinciden con los del procesamiento del experimento 4.

### **IV.3.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **IV.3.2.1 Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados**

Las premisas a verificar fueron analizadas. La primera relacionada con la matriz de datos se cumplió, pues la dimensión es de 13 x 5. La segunda correspondiente a la matriz de correlación, indicó cierto grado de correlación en cada método presiembra (anexo 6).

El análisis de los valores propios y la varianza explicada evidenció que, más del 79% de la variabilidad total fue explicada por los dos componentes principales (tablas 14 y 15).

Desde el punto de vista biológico este resultado se interpreta como que, en los métodos presiembra empleados y evaluados a través de las cinco variables en estudio, la variabilidad mostrada no fue menor de 79% cuando se agruparon la mayoría de ellas en los dos primeros componentes principales. Según Obis (1998) y Navarro y González (2001), esto se interpreta en

el sentido de que se llevó a cabo una selección acertada de las variables que pudieran estar relacionadas con el vigor. Resultados similares se encontraron en el experimento 4.

#### IV.3.2.2 Identificación del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor

##### Selección de las variables

Para la selección de las variables se tomó en consideración valores propios o de preponderancia mayores e iguales a 0,85 (tablas 14 y 15).

##### *Escarificación húmeda*

Cuando se empleó el ácido sulfúrico como método de escarificación húmeda se obtuvo que en la CP1 con una varianza explicada de 65,9%; presentaron mayores valores propios las variables altura, largo del sistema radicular y largo del hipocótilo. En la CP2 únicamente el peso de la parte aérea fue superior al valor de preponderancia establecido para la selección (tabla 14).

Tabla 14. Varianzas explicadas y valores de peso de las variables en las componentes principales extraídas para la escarificación húmeda.

Variables	Ácido		Agua		Remojo	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Altura (cm)	<b>0,91</b>	0,31	<b>0,86</b>	0,50	<b>0,89</b>	0,36
Largo sistema radicular (cm)	<b>0,94</b>	0,05	0,76	0,59	0,80	0,43
Largo hipocotilo (cm)	<b>0,93</b>	0,17	0,71	0,67	0,58	0,70
Peso sistema radicular (g)	0,58	0,34	0,11	<b>0,96</b>	-0,02	<b>0,89</b>
Peso parte aérea (g)	0,17	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	0,00	0,84	-0,25
<b>Valor propio</b>	3,29	0,84	3,86	0,85	3,00	1,13
<b>% varianza explicada</b>	65,90	16,71	77,11	16,98	59,93	22,53
<b>% varianza acumulada</b>	65,90	82,61	77,11	94,09	59,93	82,45

Para el agua caliente la componente 1 explicó el 77,11% de la variabilidad total. Las variables más importantes resultaron ser altura y peso de la parte aérea (CP1) y peso del sistema radicular (CP2).

La primera componente del método de remojo apareció dominada por la altura de las plántulas; es meritorio destacar que esta variable también fue identificada en la CP1 (59,93% de variabilidad explicada) de los dos métodos explicados anteriormente. En la segunda componente se repitió el peso del sistema radicular, al igual que cuando se realizó la inmersión de las semillas en agua caliente antes de la siembra.

### *Escarificación seca y control*

La determinación de la variabilidad de los indicadores del vigor de las semillas (figura 15 y tabla 15), indicó que al escoger dos componentes se explica el 84,62; 81,07 y 79,24% de dicha variabilidad para los tratamientos pinchazo, corte de cubierta y control, respectivamente.

Las variables seleccionadas en la CP1 para el pinchazo (tabla 15) coinciden con las escogidas en el método del ácido para la primera componente (tabla 14); mientras que para el corte de cubierta y el control fueron altura de las plántulas y largo del sistema radicular, las cuales a su vez fueron identificadas en el ácido con valores muy similares.

En la CP2 para los tres métodos (pinchazo, corte de cubierta y control) fue el peso del sistema radicular la variable seleccionada, coincidiendo con el agua caliente y el remojo en agua a temperatura ambiente.

Tabla 15. Varianzas explicadas y valores de peso de las variables en las componentes principales extraídas para la escarificación húmeda.

Variables	Pinchazo		Corte		Control	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Altura (cm)	<b>0,93</b>	0,06	<b>0,88</b>	0,37	<b>0,92</b>	0,01
Largo sistema radicular (cm)	<b>0,91</b>	0,17	<b>0,96</b>	0,03	<b>0,85</b>	0,19
Largo hipocotilo (cm)	<b>0,88</b>	0,31	0,68	0,49	0,83	0,42
Peso sistema radicular (g)	0,08	<b>0,97</b>	0,14	<b>0,96</b>	0,03	<b>0,98</b>
Peso parte aérea (g)	0,78	-0,29	0,57	0,50	0,70	-0,16
<b>Valor propio</b>	3,13	1,10	3,23	0,83	2,89	1,08
<b>% varianza explicada</b>	62,64	21,98	64,56	16,51	57,71	21,52
<b>% varianza acumulada</b>	62,64	84,62	64,56	81,07	57,71	79,24

### **IV.3.2.3 Clasificación de las evaluaciones según métodos de escarificación presiembra**

#### **IV.3.2.3.1 Índices de eficiencia**

Al igual que en el experimento anterior, con las puntuaciones factoriales correspondientes a las dos componentes principales seleccionadas, se determinaron los índices de eficiencia de cada método presiembra para realizar su clasificación. Las tablas 16 y 17 muestran la eficiencia de las variables seleccionadas por las componentes 1 y 2, para la estimación del vigor cuando las semillas se sembraron a diferentes tiempos de almacenamiento.

Tabla 16. Eficiencia de las variables relacionadas con el vigor.

Almacenamiento (mdia)	Matriz eficiencia					
	Acido		Agua		Remojo	
	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2
0	1,22	-0,37	0,78	0,98	0,73	1,22
1	-1,95	-0,45	-0,87	-0,82	0,26	-0,14
2	0,14	0,06	0,83	0,52	0,80	-0,61
3	0,30	-0,62	-1,06	-0,41	1,14	-0,93
4	1,25	0,18	1,46	-0,01	1,22	-0,40
5	-1,95	-0,45	-0,87	-0,82	-2,39	-1,56
6	-0,27	2,61	1,37	-0,58	0,43	-0,05
7	-0,16	1,62	1,08	-0,61	0,70	-0,41
8	0,37	-0,19	0,49	-0,36	0,53	-0,24
9	0,63	-0,48	-0,61	1,67	-0,71	1,68
10	0,74	-0,37	-0,88	2,07	-0,80	1,88
11	-0,11	-0,75	-0,87	-0,82	0,44	-0,14
12	-0,23	-0,79	-0,87	-0,82	0,70	-0,29

Tabla 17. Eficiencia de las variables relacionadas con el vigor.

Almacenamiento (mdia)	Matriz de eficiencia					
	Pinchazo		Corte		Control	
	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2
0	1,55	0,24	0,39	1,29	1,02	-0,26
1	0,45	-0,52	-0,50	1,87	0,67	-0,11
2	0,47	-0,45	1,03	0,77	0,82	-0,52
3	0,52	-0,66	1,29	-1,07	0,60	-0,36
4	1,16	-0,16	1,54	-0,92	0,45	-0,15
5	-2,34	-0,86	-2,35	-1,05	-2,77	-0,81
6	0,66	-0,32	-0,18	-0,06	-0,27	-0,20
7	0,11	-0,30	-0,33	0,10	-0,03	-0,32
8	-0,22	-0,56	0,52	-0,18	-0,72	-0,50
9	-0,59	2,14	-0,48	0,50	0,33	3,08
10	-0,28	2,21	-0,36	0,82	-0,22	0,84
11	-0,65	-0,44	0,12	-0,98	-0,50	-0,34
12	-0,84	-0,35	0,45	-1,11	-0,75	-0,35

#### *Escarificación húmeda*

Según los índices de eficiencia, en el método del ácido (tabla 16) se observa que desde el punto de vista de las variables altura, largo del sistema radicular y largo del hipocótilo, las evaluaciones a 0 y 4 mdia presentaron los valores más altos positivos, o sea, que en estos tiempos de almacenamiento se expresaron mejor las variables seleccionadas en la CP1; mientras que en 1 y 5 mdia se expresaron peor.

En el método del agua caliente se observa que existió un efecto positivo a 4, 6 y 7 mdia para las variables que tipifican la CP1, al igual que a 9 y 10 mdia para el peso del sistema radicular, es decir, para la CP2; la altura y el peso de la parte aérea presentaron el peor comportamiento de eficiencia en la evaluación a 3 mdia.

En el remojo presiembra de las semillas, las evaluaciones en que mejor se expresó la altura, única variable de la CP1, fueron 3 y 4 mdia, y en 5 mdia se comportó peor; por otra parte, la CP2 mostró la mejor eficiencia para 0, 9 y 10 mdia y la más mala a 5 mdia.

#### *Escarificación seca y control*

Según los índices de eficiencia (tabla 17), para el método del pinchazo las variables que tipifican a la CP1 mostraron un comportamiento positivo al sembrar las semillas a 0 y 4 mdia, no así para 5 mdia, evaluación en la que fue negativa la eficiencia de las variables de la CP1.

En el corte de cubierta y en el control, ambos métodos con las mismas variables identificadas en la CP1, los tiempos de almacenamiento donde mejor se expresaron la altura y el largo del sistema radicular fueron 2, 3 y 4 mdia para el corte y 0 mdia para el control. Los peores valores se encontraron en ambos métodos a los 5 mdia. En el caso de la CP2, es decir el peso del sistema radicular, se destacaron por la magnitud del índice de eficiencia 9 y 10 mdia en el pinchazo, 0 y 1 mdia en el corte de cubierta y 9 mdia en el control.

#### **IV.3.2.3.2 Formación de los grupos**

Esta parte es solamente informativa de lo que se explicó en los párrafos anteriores, por lo que no requiere confrontación con la literatura.

A partir de las puntuaciones factoriales de las dos componentes principales en cada método presiembra (índice de eficiencia), se procedió a analizar la existencia de tiempos de almacenamiento con comportamientos similares para que la respuesta a los métodos presiembra fuera lo más eficaz y eficiente posible en la estimación del vigor de las semillas.

En el proceso de aglomeración, se decidió realizar el corte para un valor determinado del coeficiente de disimilitud (tabla 18) con vistas a la clasificación del período de almacenamiento y la formación de los grupos; todo lo cual fue explicado en el experimento anterior.



*Escarificación húmeda*

Como se observa en la tabla 18, para el ácido, en un primer grupo se unen 0 y 4 mdia; en el segundo se agrupan 1 y 5 mdia; en el tercero se aglomeran siete tiempos de almacenamiento (2, 3, 8, 9, 10, 11 y 12 mdia) y en el cuarto grupo están 6 y 7 mdia.

En el método del agua caliente, en el grupo I se unen 0, 2, 4, 6, 7 y 8 mdia, en el II se agrupan las evaluaciones realizadas a 1, 3, 5, 11 y 12 mdia y en el grupo III, 9 y 10 mdia.

Tabla 18. Grupos formados por el análisis Cluster para cada método presiembra.

<b>Método presiembra</b>	<b>Coefficiente de disimilitud</b>	<b>Grupos formados</b>	<b>Evaluaciones (mdia)</b>
Ácido	1,34	I	0 y 4
		II	1 y 5
		III	2, 3, 8, 9, 10, 11 y 12
		IV	6 y 7
Agua caliente	1,64	I	0, 2, 4, 6, 7 y 8
		II	1, 3, 5, 11 y 12
		III	9 y 10
Remojo	1,57	I	0
		II	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11 y 12
		III	5
		IV	9 y 10
Pinchazo	1,29	I	0 y 4
		II	1, 2, 3, 6, 7, 8, 11 y 12
		III	5
		IV	9 y 10
Corte de cubierta	1,15	I	0, 2, 6 y 7
		II	1
		III	3, 4, 8, 9, 10, 11 y 12
		IV	5
Control	1,15	I	0, 1, 2, 3, 4 y 9
		II	5
		III	6, 7, 8, 10, 11 y 12

De los cuatro grupos que se formaron para el remojo, solo aparecen conjuntos de tiempos de almacenaje para el II (1, 2, 3, 4, 6, 7, 11 y 12 mdia) y el IV (9 y 10 mdia), ya que en I y III sólo aparecen 0 y 5 mdia, respectivamente.

#### *Escarificación seca y control*

Para los métodos presiembra pinchazo, corte y control, en ese mismo orden se formaron cuatro, cuatro y tres grupos similares (tabla 18).

En el grupo I para el pinchazo se unieron 0 y 4 mdia; el II estuvo compuesto por 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11 y 12 mdia; en el III, al no contar con características semejantes a ninguna otra evaluación, aparece 5 mdia; y en el grupo IV se agruparon 9 y 10 mdia.

En los cuatro grupos que se formaron con el análisis de conglomerados para el método del corte de cubierta, en el I se encontraron 0, 2, 6 y 7 mdia; el III incluyó a 3, 4, 8, 9, 10, 11 y 12 mdia; en II y en IV se reportaron los tiempos de almacenamiento 1 y 5 mdia, respectivamente.

En el control, los tres grupos similares agruparon, individualmente, los tiempos de almacenaje como se explica: I) 0, 1, 2, 3, 4 y 9 mdia; II) 5 mdia y III) 6, 7, 8, 10, 11 y 12 mdia.

#### **IV.3.2.4 Definición de los grupos de vigor**

Los valores promedio de las variables, relacionadas con el vigor (anexo 8), para cada grupo de acuerdo con el método presiembra, se presentan en las figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19.

#### *Ácido*

En el grupo I se encontró el valor promedio más alto para las variables altura, largo del hipocótilo y peso del sistema radicular, además del segundo mejor valor para el largo del sistema radicular (figura 14); las dos primeras están dentro de las identificadas en la CP1 como las de mayor variabilidad para el método del ácido sulfúrico (tabla 14), al igual que la última variable mencionada. En la tabla 16 se refleja que los mayores valores positivos del índice de eficiencia (EfCP1) se observaron a 0 y 4 mdia, evaluaciones pertenecientes al grupo I.

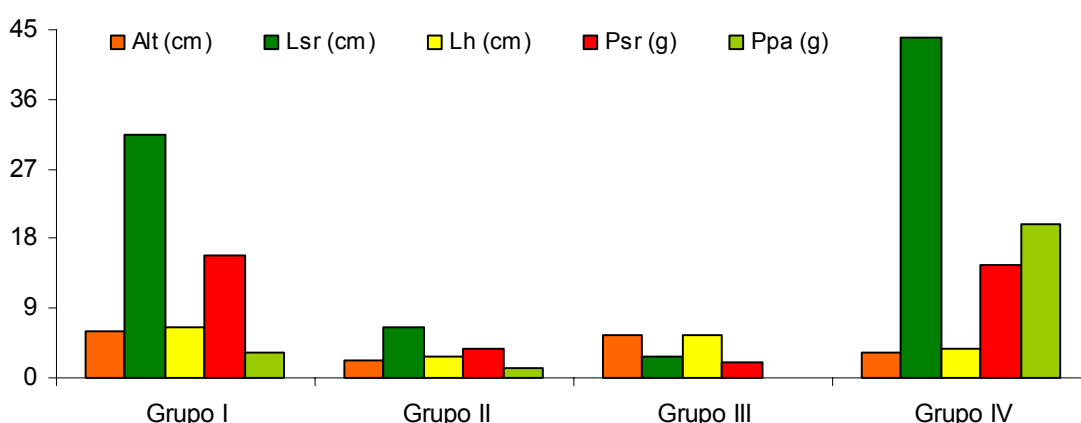


Figura 14. Valores promedio de las cinco variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del ácido.

Es importante señalar que el análisis realizado permitió determinar que cuando se aplicó el ácido sulfúrico como método de escarificación presiembra a 0 y 4 mdia, se expresó el vigor más alto de las semillas.

El grupo II agrupó los tiempos de almacenamiento en que las plántulas no sólo fueron de menor altura, sino también exhibieron los hipocótilos más pequeños (figura 14); además, en dicho grupo se registró el segundo peor valor para las variables largo y peso del sistema radicular y peso de la parte aérea. Los tiempos de almacenamiento 1 y 5 mdia manifestaron índices de eficiencia considerados como los peores negativos del método del ácido para EfCP1 (tabla 16). Por todo lo anterior, se considera que en el grupo II las semillas expresan el vigor más bajo.

El grupo III, presentó los peores valores para las variables largo y peso del sistema radicular, y para el peso de la parte aérea. De igual manera, los índices de eficiencia para las evaluaciones que componen al grupo se consideran bajos (tabla 16). Todo este comportamiento conduce a considerar al grupo III muy cercano al II, por lo que también se valora como de vigor bajo.

#### *Agua*

En el grupo I se encontró el valor promedio más alto para la altura de las plántulas, largo del hipocótilo y peso de la parte aérea (figura 15). La primera y la última de estas variables fueron identificadas en la CP1 (tabla 14). De las seis evaluaciones que componen este grupo, en tres de ellas se observaron los valores más altos positivos del índice de eficiencia (4, 6 y 7 mdia), sin menospreciar los tres restantes (0, 2 y 8 mdia) que igualmente pueden considerarse adecuados, debido a que fueron los únicos positivos después de los mencionados anteriormente (tabla 16).

Los resultados analizados en su conjunto conducen a afirmar que el vigor más alto corresponde a aquellas simientes que son sembradas a 0, 2, 4, 6, 7 y 8 mdia, luego de permanecer tres minutos en agua a 80°C.

En el grupo II coincidieron los valores promedio más bajos para todas las variables medidas, excepto para el peso de la parte aérea, aunque es de destacar que dicho valor (0,15 g) no distó mucho de lo registrado por la variable antes mencionada en el grupo III (0,02 g), en el cual se registró el menor valor del estudio. En la tabla 16 se identifica a 3 mdia como la evaluación de mayor valor negativo del índice de eficiencia; no obstante, los valores a 1, 5, 11 y 12 mdia también se pueden valorar como índices negativos, lo cual se manifestó en los peores comportamientos para las variables seleccionadas por la CP1 y la CP2 (tabla 14).

Dicho comportamiento indica que las semillas tratadas con agua caliente y aglomeradas en el grupo II, al llegar a la etapa de plántulas crecieron y se desarrollaron débilmente; ello pudiera estar asociado a que en los tiempos de almacenamiento de este grupo el agua a 80°C durante

tres minutos dañó las reservas alimenticias contenidas en los cotiledones o a que el daño se produjo en el embrión propiamente dicho; lo cual fue explicado de igual manera en el experimento 2. El grupo II se clasificó como el de vigor más bajo para las semillas que se trataron con agua caliente.

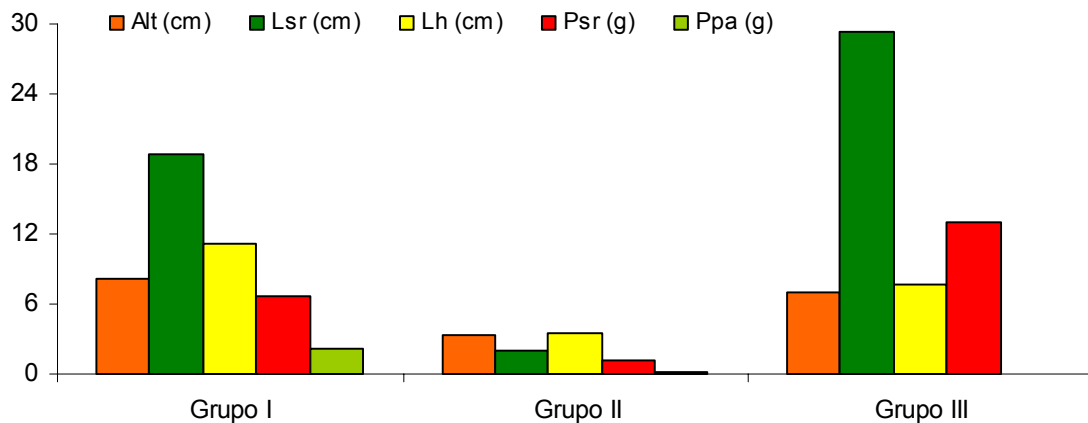


Figura 15. Valores promedio de las cinco variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del agua caliente

### Remojo

El grupo II representó los tiempos de almacenaje en los que el hipocótilo era más largo y el peso de la parte aérea fue mayor (figura 16); además, resulta oportuno destacar que el valor registrado para la variable altura de la plántula fue el segundo mayor para el método (5,83 cm, DS=0,35) y no distó del grupo I considerado el valor más alto (6,43 cm, DS=2,36). Tanto la altura como el peso del sistema radicular se correspondieron con las variables seleccionadas en la CP1 y CP2 (tabla 14). Este grupo lo integraron, entre otras evaluaciones, los tiempos de almacenaje 3 y 4 mdia considerados por el índice de eficiencia como los valores más altos positivos (mejor comportamiento de las variables); en valores igualmente positivos se encontró el resto de los tiempos de almacenamiento que por su semejanza se agruparon en el grupo II. En cuanto a la expresión del vigor se puede especular que el grupo II fue el del vigor más alto; a este razonamiento conduce el hecho de que el 82% de los tiempos de almacenamiento agrupados aquí manifestaron los mejores índices de eficiencia para las variables identificadas en el análisis de componentes principales.

El grupo IV presentó el máximo valor para el largo del sistema radicular y el peso de la parte aérea, lo cual representó un equilibrio adecuado entre los dos ejes de las plántulas. Aunque estas variables no se corresponden con las identificadas por la CP1 y la CP2 (tabla 14), resulta

oportuno destacar que 9 y 10 mdia presentaron altos valores positivos para la EfCP2 (tabla 16). Por ello, este grupo se puede considerar como de vigor medio o cercano al de vigor alto.

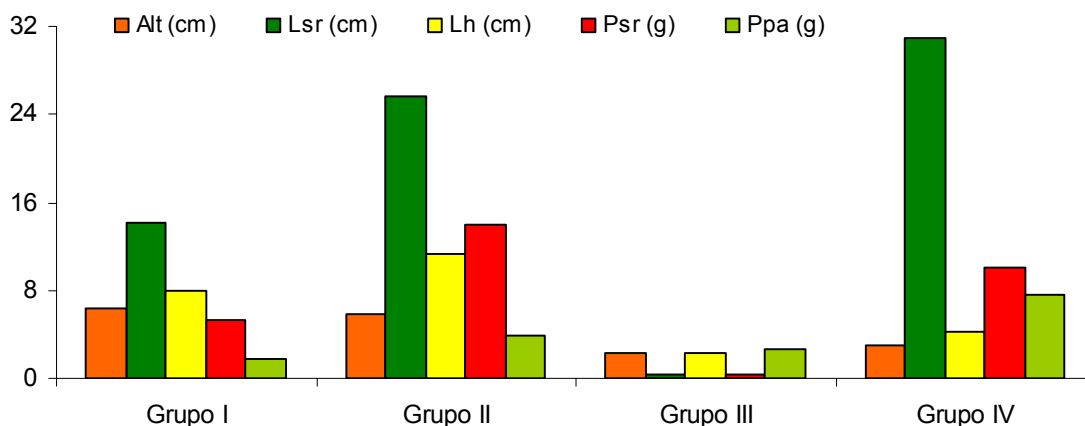


Figura 16. Valores promedio de las cinco variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del remojo.

Por su parte el grupo III, o lo que es lo mismo 5 mdia, presentó los mínimos valores para todas las variables en estudio (anexo 8, figura 16), excepto para el peso de la parte aérea, aunque su valor no estuvo distante del mínimo registrado por el grupo I (2,73 vs. 1,84 cm), puesto que éste presentó una desviación estándar de 0,76. De igual manera, la tabla 16 muestra que a 5 mdia se manifestaron peor las variables de la CP1 y la CP2, reafirmado por los valores de la EfCP1 y la EfCP2. Todo ello permite afirmar que a 5 mdia se produjeron plántulas débiles, por lo cual el vigor de las semillas fue más bajo.

#### *Pinchazo*

En el grupo I se concentraron las evaluaciones con mayor altura de plántulas y largo del hipocótilo (figura 17), dos de las variables seleccionadas por el ACP (tabla 15). Al mismo tiempo los índices de eficiencia más altos positivos para la CP1 (EfCP1) se observaron a 0 y 4 mdia, ambos tiempos de almacenaje integraron el grupo I. De lo anterior se deduce que este grupo fue el de mejor vigor de las semillas para el método del pinchazo.

En el grupo III se registró el menor valor promedio para las variables altura y largo del hipocótilo, así como el segundo valor más bajo para el largo del sistema radicular. Por otro lado, los resultados del índice de eficiencia (tabla 17) muestran a 5 mdia como la evaluación en la que peor se expresaron las variables procedentes de la CP1 (EfCP1). Toda esta explicación confirma que las semillas del grupo III exhibieron el vigor más bajo para el pretratamiento consistente en el pinchazo en la región dorsiventral de las mismas.

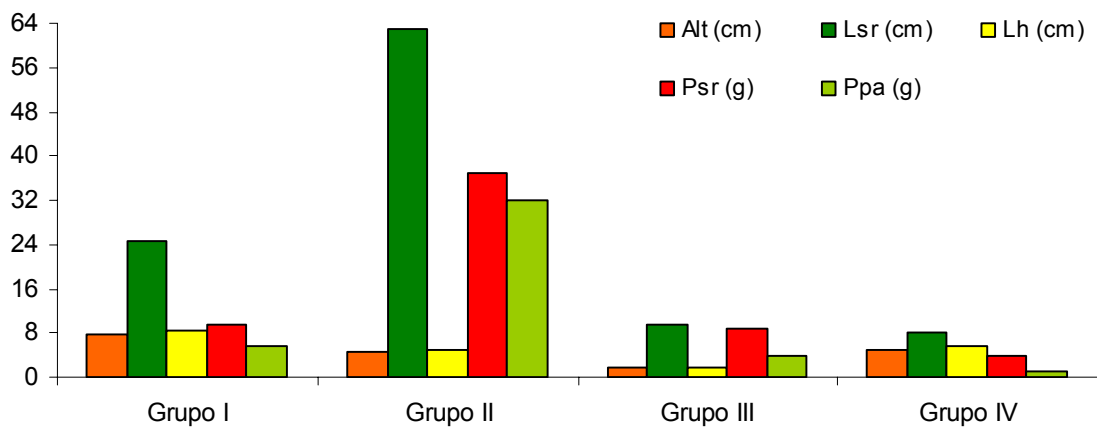


Figura 17. Valores promedio de las cinco variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del pinchazo.

#### Corte de cubierta

En el grupo III (tabla 18) se agruparon los tiempos de almacenamiento en los que el largo y peso del sistema radicular y el peso de la parte aérea exhibieron los registros más altos (figura 18). Las dos primeras variables fueron seleccionadas en la CP1 y la CP2, respectivamente (tabla 16). Dos de los tiempos de almacenamiento agrupados en III mostraron los valores positivos más altos del índice de eficiencia para las variables de la CP1 (EfCP1). El resto de las evaluaciones presentó, indistintamente, buen comportamiento en la CP1 y la CP2. El análisis en su conjunto identificó al grupo III como el de vigor más alto.

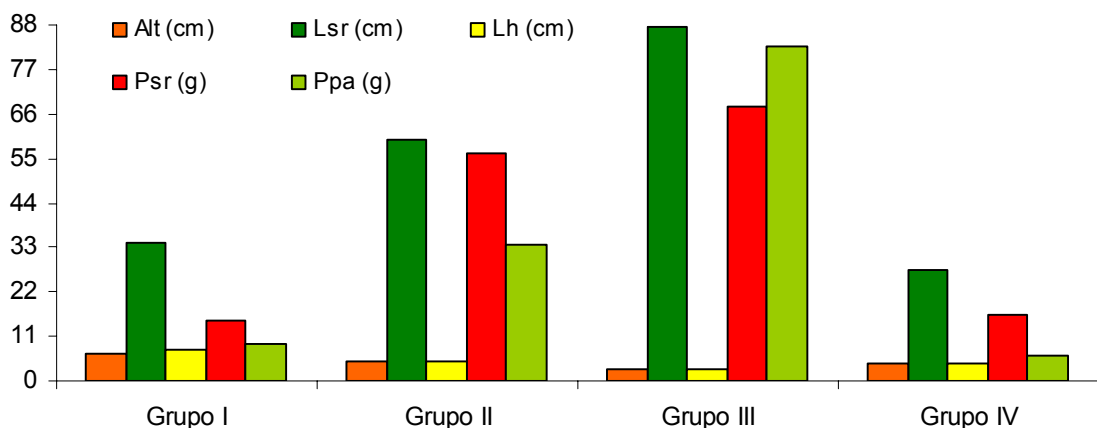


Figura 18. Valores promedio de las cinco variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el método del corte de cubierta.

Las variables altura y largo del hipocótilo tuvieron los mejores valores en el grupo I, aunque es de señalar que sólo la primera fue seleccionada por el análisis de componentes principales

(tabla 16); a su vez, éste mostró el peor comportamiento para el peso del sistema radicular y el segundo valor más bajo para el largo del sistema radicular (34,05 cm; DS=1,65), que estuvo cercano al menor (27,22 cm; DS=10,61) registrado por el grupo IV. El largo y peso del sistema radicular fueron variables contenidas en la CP1 y la CP2, respectivamente (tabla 16), por lo que su desfavorable comportamiento señala al grupo I como el de vigor bajo.

#### Control

De los tres grupos que se formaron para el control, I y III mostraron un comportamiento similar en cuanto a los valores promedio de las variables estudiadas, en especial se destacaron el largo del sistema radicular y el peso de la parte aérea (figura 19). No obstante, es conveniente destacar que para la altura y el largo del hipocótilo el I fue superior; en este mismo grupo sobresalieron dos de las tres variables seleccionadas en la CP1 y la CP2 (tabla 16) y los índices de eficiencia de la CP1 (EfCP1) para los tiempos de almacenamiento del grupo I exhibieron los únicos valores positivos para el control; entre ellos se encontraba 0 mdia, considerado el más alto positivo. De este análisis se puede plantear que el I es el grupo de vigor más alto.

En el grupo II, representado por 5 mdia, todas las variables en estudio presentaron valores bajos, tres de ellas con los más bajos y dos con los segundos más bajos para el control, todo lo cual puede observarse en el anexo 8 y la figura 19. Además, el índice de eficiencia (tabla 17) identificó a 5 mdia como el tiempo de almacenamiento donde peor se expresaron las variables altura y largo del sistema radicular (EfCP1) y peso del sistema radicular (EfCP2). Los razonamientos anteriores conducen a identificar al grupo II como el de vigor más bajo.

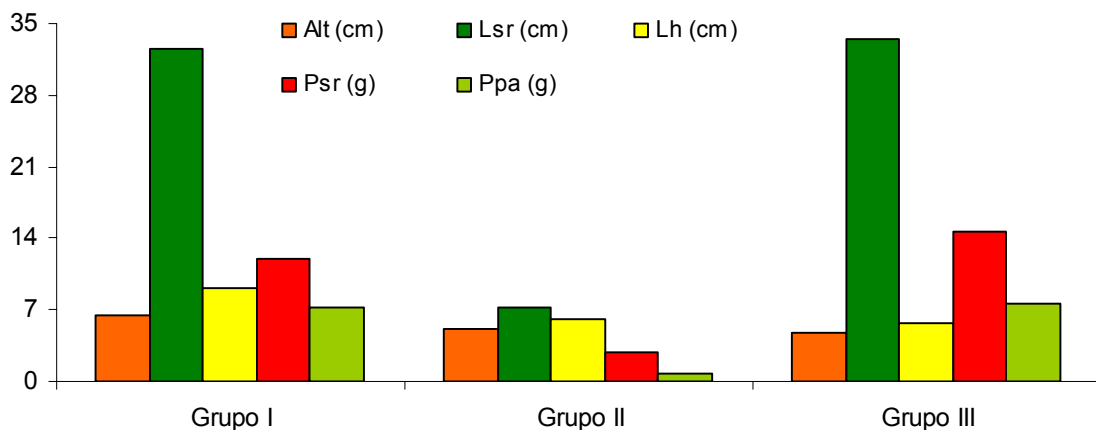


Figura 19. Valores promedio de las cinco variables relacionadas con el vigor para cada grupo formado en el control.

Aunque el comportamiento de los resultados de este experimento fue visto anteriormente, se decidió discutir algunos aspectos que se consideran de importancia.

Los efectos del nivel de vigor pueden persistir e influir en el crecimiento de la planta adulta, la uniformidad de la cosecha y el rendimiento de la especie (Bonner 1998); sin embargo, no puede ser calculado como una simple propiedad medible (como la germinación), sino que es un concepto que describe varias características asociadas con diversos aspectos del desempeño de las semillas en el campo (van de Venter 2000). Por esta razón se calcularon e interpretaron cinco de los índices que, según el criterio independiente de algunos autores, determinan el fenómeno llamado vigor de la semilla o están muy relacionados con la estimación de dicho indicador.

Después de valorar las variables del crecimiento, fundamentalmente en el experimento 4, se estudiaron las estructuras de un desarrollo más avanzado dentro del proceso de germinación y emergencia.

Un elemento importante es que en el experimento 5, los resultados por efecto de los tratamientos presiembra indicaron una influencia diferente en las plantas que lograron sobrevivir a algunos efectos agresivos del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y el agua caliente. Es decir, las plántulas que superaron las etapas de germinación y emergencia tuvieron un comportamiento que, aunque diferente entre los tratamientos, fue normal en cuanto a la expresión de las variables del desarrollo.

Es bueno precisar que la elección de 30 días para el estudio tiene una justificación lógica. Primeramente, este intervalo permite ver si existe o no un desarrollo normal de las estructuras esenciales como la raíz, el tallo y los cotiledones, en plantas de germinación epigea o hipogea, aunque en nuestro caso el género *Albizia* pertenece al primer grupo (Schmidt 2000).

Observaciones medidas a lo largo del estudio en las plantas que lograron desarrollarse, no mostraron en ningún caso daños en la raíz, el hipocótilo y los cotiledones. En el primer caso, se apreció un desarrollo normal y en el caso del hipocótilo, esta estructura tuvo una expresión adecuada y sin afectaciones. Lo mismo ocurrió con los cotiledones. Estas tres estructuras fueron señaladas por Wellington (1988) como de las más importantes para la evaluación del desarrollo inicial en plantas de germinación epigea.

Por otro lado, Schmidt (2000) informó que *Rizoctonia solani* provoca la marchitez de las posturas una vez transitado el período inicial de emergencia, el que no se manifiesta en la semilla almacenada ni en las primeras etapas del crecimiento, sino posteriormente. Este hecho negativo tampoco fue observado en las plántulas que se evaluaron en este experimento.

Además, y desde el punto de vista práctico, se conoce que las leguminosas arbóreas tienen un lento crecimiento inicial en campo cuando se siembran, lo que puede afectar su establecimiento (Febles et al. 2003; Ruiz et al. 2005). Estudios que se condujeron en la arborea *Leucaena leucocephala* por Ruiz y Febles (2003) relacionados con el momento en que se debe comenzar



la erradicación de las malezas, posterior a la siembra, comprobaron que la leucaena no afectó su desarrollo al mantenerse limpia y sin competencia negativa con las malezas durante los primeros 60-80 días. Sin embargo, el crecimiento disminuyó decisivamente, sin recuperación, cuando el enyerbamiento se mantuvo después de 20 días de la siembra. Esta leguminosa permite cierta presencia de malezas durante los primeros 20 días a partir de la siembra, lo que conduce a mayor flexibilidad para iniciar la labor de control de arvenses. Un crecimiento inicial similar fue informado para especies del género *Albizia* (Febles y Ruiz 2003). Esto reviste mayor trascendencia si se valora que los resultados del presente trabajo indican que *A. lebbbeck* crece alrededor de 60 cm en tres meses.

## **CAPÍTULO V. CONSIDERACIONES GENERALES**

La aplicación de conceptos esquemáticos y no integrales en el tratamiento que se debe dar en cualquier momento de la vida de una planta, pudiera conducir a decisiones graves en los trabajos de investigación y de producción, las cuales deben ser evitadas, de esta forma se alcanzarán resultados más objetivos, estables, universales, prácticos y, por lo tanto, de influencia directa en la sociedad en la que nos desenvolvemos.

La unidad experimental de esta tesis se pudo lograr a través del diseño y ejecución de cinco experimentos que lograron integrar y conocer, con determinada precisión, algunas características de la germinación, la viabilidad, la dormancia y el vigor como atributos importantes de la calidad de las semillas.

Las investigaciones relacionadas con el vigor y la confección de metodologías apropiadas hacen hincapié, fundamentalmente, en especies hortícolas de diferentes ambientes, principalmente en áreas de clima templado. Sin embargo, el trabajo en esta dirección es muy escaso en especies tropicales pratenses y más aun en plantas de leguminosas de hábito de crecimiento arbustivo y arbóreo (Bonner 1998; Tekrony 2003; Tekrony 2006).

La detección del deterioro de las semillas a través de las pruebas de vigor puede ser entendida como un componente importante en la evaluación de elementos de la calidad y contribuye a la solución de problemas de la industria semillera, tales como el almacenamiento. Al respecto, Alizaga et al. (1992) aseveran que el principal desafío de las investigaciones sobre pruebas de vigor está en la identificación de indicadores relacionados con el deterioro de las semillas, que preceden a la pérdida de la capacidad germinativa. Este último elemento se pudo verificar, con determinada precisión, en los experimentos 1 y 2.

Si bien el Comité de Vigor de la Asociación Internacional para el Análisis de Semillas sugiere los protocolos de algunos ensayos de uso ya generalizado (ISTA 1995 y 2001), debido a la difícil estandarización de algunas pruebas, es necesario realizar ensayos para conocer la respuesta de las semillas a las condiciones locales de siembra.

No obstante, en los últimos 50 años se propusieron, estudiaron y usaron, por los especialistas en semillas, diferentes métodos para evaluar el vigor. La exquisitez de las investigaciones demostró que se ha diversificado el acercamiento a la estimación del vigor y, como,

consecuencia, su integralidad, por lo que se necesita volver a encauzar los objetivos de las pruebas de vigor para alcanzar las metas que se proponen, puesto que solamente algunos métodos se utilizan internacionalmente. El Comité de Vigor de la ISTA concentró sus esfuerzos en la estandarización de nueve pruebas de vigor, mientras que la AOSA sugirió o recomendó procedimientos para siete métodos.

Además, el vigor se maneja muchas veces de manera empírica o utilizando una o dos variables solamente. En el presente trabajo se aplicó este concepto y se le adjudicó una expresión más integral y dinámica. Los elementos (variables) seleccionados son expresiones biológicas del crecimiento y del desarrollo a los que se dio un contenido y expresión matemáticos para “precisar” su comportamiento.

Otro elemento que se tomó en consideración (que formó parte de la estrategia de los experimentos 1 y 2) y que merece ser destacado, es que el almacenamiento se valoró como un elemento de envejecimiento y deterioro, y como expresión dinámica de todas las variables; aspecto de crucial importancia y que ratifica la correspondencia entre el método propuesto y el estado del arte en el tema objeto de estudio.

Ferguson (1995), en el intento por conceptualizar el vigor de semillas, dijo que éste se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas e incluye: 1) cambios en los procesos bioquímicos; 2) la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas; y 3) la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés.

La manifestación visual de los cambios bioquímicos ocurridos puede ser valorada mediante el comportamiento de la viabilidad, indicador que se analizó y debatió en el experimento 1.

El segundo aspecto mencionado con anterioridad, se abordó de manera integral a través de la selección y análisis de las variables que se midieron durante la prueba de emergencia de plántulas. La originalidad del método que propone esta tesis es integrar variables del crecimiento y el desarrollo (experimentos 3, 4 y 5) medidas en condiciones ambientales, es decir, en las condiciones reales del campo, y no en locales acondicionados como señaló Bennett (2002), empleando como unidades experimentales bolsas aviveradas con un sustrato compuesto de suelo y estiércol ovino; este se podría encontrar en cualquiera de las unidades productivas que en Cuba se dedican a la actividad agropecuaria dígase finca o banco de semilla.

El hecho de que prácticamente todas las variables tengan elevado grado de preponderancia explicada, fundamentalmente en la primer y la segunda componente principal de los experimentos 4 y 5, indica lo acertado de la selección realizada. Muchas de estas variables

realmente pueden contribuir a explicar el vigor con más precisión e integralidad. Aunque realmente la idea al emplear el análisis de componentes fue discriminar algunas, este hecho no fue posible ni es recomendable puesto que todas estuvieron expresadas en las dos componentes con alto grado de preponderancia.

Los experimentos 4 y 5, que constituyen el capítulo IV, tienen dos partes: una de ellas es la expresión del vigor puntualmente y la otra, el vigor visto en el tiempo a través del almacenamiento. ¿Cómo se logran conjugar?. La respuesta se encuentra en el desarrollo de un índice al que se le denominó “índice de eficiencia” pues indica, a través de artificios matemáticos multivariados, la relación entre el desenvolvimiento de las variables medidas y los períodos de almacenamiento; es así que la eficiencia de los tratamientos presiembra empleados también proporciona la información acerca del comportamiento del vigor, luego de la aplicación de uno u otro indistintamente.

Torres et al. (2007) lograron un modelo estadístico que incorpora varios métodos, los cuales utilizan técnicas estadísticas e informáticas y hacen factible la evaluación del impacto en el proceso de transferencia e innovación tecnológica en el sector agrario; pero que se puede utilizar, además, en otras esferas productivas y de investigación. En esta tesis se adecuó dicho método con el propósito de lograr una metodología original e integral para la estimación del vigor de las semillas como indicador de la calidad y el éxito posterior de la siembra de una plantación.

A través de las variables biológicas de la germinación y la emergencia empleando mecanismos matemáticos, se logró definir para cada tratamiento presiembra:

1. Cuáles son las variables más relacionadas con el vigor para cada tratamiento presiembra.
2. En qué momento del almacenamiento de la semilla existe mayor contribución de las variables seleccionadas
3. Cuáles son los grupos de tiempos de almacenaje (evaluaciones) con un comportamiento similar en cuanto al vigor.

Los tres razonamientos anteriores indican que la metodología propuesta es aplicable a semillas de cualquier especie y con diferentes tiempos de almacenamiento, así como permite decidir qué tratamiento presiembra se debe utilizar para potenciar el vigor y, como consecuencia, tener más seguridad y éxito en la plantación que llevemos a cabo con cada lote de semilla empleada.

El tercer y último de los argumentos esgrimidos por Ferguson (1995) también constituye un aspecto de novedad de esta tesis. ¿Cómo se logró provocar estrés a estas semillas sin necesidad de utilizar cámaras de envejecimiento ni soluciones salinas o bajas temperaturas?.

La técnica utilizada fue simple. El almacenamiento al ambiente y los tiempos evaluados (desde 0 hasta 12 meses) constituyó el método estresante, debido a que de acuerdo con Walters (1998), como mecanismo natural para asegurar las sucesiones vegetales las semillas impermeabilizan sus cubiertas (pérdida del agua intracelular) provocando mayor resistencia a la renovación del crecimiento. Este comportamiento está relacionado con el tiempo de almacenaje.

Por otra parte, las condiciones ambientales del almacén están muy relacionadas con los cambios en el contenido de humedad (CH), por la propiedad de las semillas de ser higroscópicas (Taiz y Zeiger 2006), es decir, tratan constantemente de equilibrar su CH con la humedad relativa ambiental (Chai et al. 1998). Se conoce que al aumentar el CH se puede presentar más aceleradamente el fenómeno de deterioro o envejecimiento, con el subsiguiente cambio en su fisiología (merma de sustancias de reserva, aberraciones cromosómicas, entre otras), además de estar expuestas al ataque de plagas de almacén. Todo ello fue enunciado, descrito y ejemplificado por Harrington (1972).

En los almacenes con condiciones ambientales de Cuba, las semillas están expuestas a los cambios de temperatura y humedad relativa del ambiente, pues los envases que se emplean son permeables y favorecen lo antes expuesto. En el caso particular de este trabajo, esta situación aparece reflejada en la figura 1 del capítulo II de este material, donde se describen las metodologías generales de la tesis.

Los experimentos 3, 4 y 5 tuvieron un enfoque y una estrategia integradora, lo que constituye el enfoque original y novedoso del vigor. Esto se debe a las siguientes consideraciones.

Las variables seleccionadas están relacionadas con el vigor, ya que describen y caracterizan el desempeño de las semillas en las condiciones reales de siembra; es así que permiten estimar el potencial de emergencia de plántulas en el campo con el inevitable efecto de las condiciones ambientales, aspecto que de no tomarse en consideración podría limitar el resultado certero en función de la expresión dinámica del crecimiento y el desarrollo vistos en el tiempo.

De ello se deduce que la velocidad de expresión de las variables es fundamental para estimar el vigor.

Una de las pruebas que más se ejecutan internacionalmente para determinar el vigor es la de envejecimiento acelerado, la cual necesita estandarizarse para cada especie. La clave está en el período de exposición de las simientes al envejecimiento y esto se logra mediante ensayos con varias temperaturas y números de horas de permanencia de las semillas en la cámara de envejecimiento. Una de sus deficiencias radica en que, en dependencia de la especie, para una misma temperatura el aumento del período de exposición proporciona ganancias en los

porcentajes del tenor de agua de las simientes. Para contrarrestar este factor se sugiere el uso de soluciones saturadas de sales (NaCl, KCl o NaBr) durante la realización de la prueba, con el objetivo de reducir la humedad relativa en el interior de los compartimientos individuales, retardando la absorción de agua por la semilla. Esta modificación a la prueba se denomina “test de envejecimiento acelerado con uso de soluciones saturadas de sal (SSAA por sus siglas en inglés) y fue propuesto por Jianhua y McDonald (1996)

A pesar de los diversos estudios conducidos en cuanto a la temperatura y los períodos adecuados de exposición de la prueba de EA, no se llegó al consenso entre los investigadores y existe carencia de información para varias especies de interés económico (Marcos Filho 1999) y acerca de cómo estandarizar las diferentes partes del método.

Predominan en la literatura investigaciones en que el uso de varios períodos de exposición fue capaz de indicar diferencias de vigor entre las muestras evaluadas, debido a que un período determinado puede causar grados de estrés mucho más drásticos que los enfrentados por las semillas durante el transporte, el almacenamiento y en las condiciones de siembra en campo (Lima et al. 2006).

¿Cómo eliminar estos inconvenientes?. ¿Cómo lograr grados de estrés en correspondencia con las condiciones a las que serán expuestas las semillas y las plántulas durante la siembra y el establecimiento?. El almacenamiento en condiciones ambientales visto en el tiempo, o lo que es igual, analizado mensualmente de inicio a fin, se enfoca como diferentes grados de estrés. La conducción de la prueba de emergencia de plántulas en viveros a pleno sol, en la propia finca o banco, la medición de variables estrechamente interconectadas con el vigor de las semillas y posteriormente el análisis integrador de los resultados, conducirá a resultados más precisos sobre el vigor de las semillas y, por ende, a su potencial de almacenamiento y calidad.

Por todo lo anterior, el vigor en su nuevo enfoque, como concepto integrado y dinámico, puede ser considerado como la interacción de aquellas propiedades bióticas y abióticas, que influyen en las semillas y que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las mismas en el tiempo; como son las expresiones de la viabilidad, la dormancia, la germinación y la emergencia. Por ello, no se puede desvincular el vigor como parte esencial de la calidad de las semillas.

Resulta interesante, por tanto, que las fincas y bancos de semillas dispongan de métodos eficientes que avalen con seguridad el potencial efectivo de los lotes para el establecimiento en campo.

Cuando se dispone de un lote cualquiera de semillas es esencial conocer qué edad tiene la semilla y en qué condiciones fue almacenada, para de acuerdo con esto aplicar los artificios

matemáticos sugeridos y, según las condiciones existentes, proceder a aplicar o no un tratamiento presiembra en campo.

Después de este análisis se está en condiciones de discutir acerca de la materialización de la estrategia general o concepción científico-metodológica de esta tesis.

Se logró evaluar con métodos apropiados, elementos o aspectos de la calidad de la semilla a través del estudio de la germinación, la viabilidad, la dormancia y el envejecimiento. Para ello, se seleccionó el almacenamiento en condiciones no controladas por su prevalencia en los almacenes convencionales existentes en el país. Los resultados de este trabajo condujeron a evaluar los métodos de escarificación húmeda y seca, como elementos que coadyuvan a la ruptura de la dormancia.

Después de conocer dichos atributos se comenzó el análisis del vigor a través de la integración progresiva de variables biológicas en el capítulo IV, muy vinculadas en lo básico a lo que se estudió en el capítulo III. La última etapa donde se integraron 7 y 5 variables (experimentos 4 y 5, respectivamente) para el estudio del crecimiento y el desarrollo, condujeron a la confección de un método novedoso y científico que terminó con la conformación de una propuesta metodológica relacionada con los elementos de la calidad que originaron esta tesis.

El desarrollo de la estrategia experimental hizo posible verificar la hipótesis de esta tesis. Así, el estudio de elementos no conocidos, de manera integral, de una leguminosa arbórea tropical, ayuda a posibilitar su incorporación al incremento de la diversidad biológica, a esferas productivas de la ganadería tropical y, por consiguiente, a la ciencia aplicada contemporánea.

El objetivo general también se cumplió, al lograr la combinación del análisis univariado, el multivariado y otras técnicas matemáticas originales, de manera lógica, en características biológicas de la especie en estudio. De esta forma, con un enfoque menos subjetivo se logró precisar (hasta donde fue posible), con elementos matemáticos, atributos esenciales contenidos en la calidad de las semillas.

Este objetivo general se desglosó en objetivos específicos, que fueron los mismos que persiguieron los experimentos de esta tesis. En la medida de las posibilidades, estos también fueron cumplidos con el desarrollo de cada experimento.

Los resultados permitieron tener un conocimiento más objetivo y preciso del vigor debido a que se pudo lograr un equilibrio aceptable entre los elementos biológicos y matemáticos utilizados.

Al valorar en su conjunto los diferentes elementos de esta tesis se puede, entre otros aspectos, recomendar la siguiente Metodología Evaluativa del Vigor de Semillas recién cosechadas de especies de leguminosas tropicales arbustivas y arbóreas, u otras especies con características seminales similares en cuanto a morfología y comportamiento.

## **Metodología integrada para medir el vigor de las semillas de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial**

### **Objetivo**

Crear un mecanismo estable que permita la reproducibilidad de un resultado de manera confiable, al emplear métodos biológicos y matemáticos sobre la base del análisis interactivo de elementos básicos cualitativos y cuantitativos que intervienen en el desarrollo de una semilla.

### **Indicadores y contenido conceptual**

Los indicadores esenciales son:

- Viabilidad

Capacidad de las semillas para germinar en condiciones adecuadas de temperatura, agua, oxígeno y luz (Besnier 1965)

- Germinación

La germinación puede ser definida como aquellos eventos que comienzan con la captación de agua por la semilla y finalizan con la elongación de los ejes embrionarios, es decir, la radícula y la plúmula (Bewley 1997). La aparición de la radícula a través de las cubiertas seminales es el primer indicio visible de la germinación (Besnier 1965).

- Emergencia

Se considera que la plántula está emergida cuando en la superficie del sustrato se observan los cotiledones fuera de la envoltura seminal debido al alargamiento y erección del hipocótilo (Besnier 1965).

- Vigor

Es la interacción de aquellas propiedades bióticas y abióticas, que influyen en las semillas y que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las mismas en el tiempo; como son las expresiones de la viabilidad, la dormancia, la germinación y la emergencia.

### **Procedimiento y secuencia de trabajo**

- Viabilidad

Para hacer una estimación rápida de la viabilidad de las semillas se utiliza el ensayo topográfico de tetrazolium (ISTA 1999). Como reactivo para esta prueba se emplea una solución acuosa de cloruro de 2,3,5-triphenyl tetrazolium (pH 6,5-7,5) al 1,0% de concentración. Se establecen cuatro repeticiones de 100 simientes cada una, las cuales se colocan a embeber en la solución acuosa anteriormente citada, que actúa como un indicador de los procesos de reducción que tienen lugar dentro de las células vivientes. En la evaluación de la viabilidad, el cálculo y la



expresión de los resultados, se toman en consideración las reglas internacionales que rigen el trabajo en esta prueba bioquímica (ISTA 1999). Esta evaluación se basa en la coloración que toman las diferentes estructuras embrionarias.

- Germinación

Para el montaje de la prueba de germinación se emplean cápsulas Petri u otro recipiente adecuado, con 184 gramos de arena de río lavada y desinfectada como sustrato inerte, y en el momento de la siembra se aplican 48 mL de agua (temperatura ambiente), medida que se ajusta al valor de la capacidad de saturación de la arena. En cada una de las evaluaciones, las cápsulas se mantienen en la cabina en condiciones controladas (luz, temperatura y humedad) durante 21 días, de acuerdo con lo normado por el ISTA (1999) para las semillas de árboles y arbustos tropicales. Se emplean cuatro repeticiones de no más de 100 semillas cada una. A medida que la semilla germina se eliminan de la cápsula.

Es necesario aclarar que en cada evaluación la posición de las cápsulas Petri se cambia cada tres días, con el fin de disminuir los errores experimentales (Murillo 1998; Yang et al. 1999). La metodología puede desarrollarse en vivero.

- Emergencia

Para evaluar la emergencia de plántulas se realizan siembras en el vivero, para lo cual se utilizan bolsas con un sustrato compuesto por una mezcla de suelo Ferralítico Rojo y estiércol ovino totalmente descompuesto y seco, en partes iguales (1:1), u otro material orgánico. En cada una de las evaluaciones se emplean cuatro réplicas (bolsas) de 100 semillas y se realizan conteos diarios durante 21 días; el riego se aplica a saturación.

**Etapas para el análisis integrado del vigor**

Se desarrolla un procedimiento original e integrado para la evaluación del vigor de las semillas, generado por las mediciones realizadas a las variables en el vivero durante la prueba de emergencia de plántulas (primera fase) y durante la prueba de crecimiento de plántulas (segunda fase), el cual consiste en:

1. Seleccionar las variables que aparecen descritas posteriormente, relacionadas con el vigor según el criterio integrado de diversos autores.
2. Caracterizar el comportamiento de los métodos presiembra más adecuados y que están destinados a superar la dormancia.
3. Evaluar cada variable, en un momento inicial (0 mdia) y durante 12 meses subsiguientes (período de almacenamiento). El primero representa el inicio del almacenamiento (semillas recién cosechadas) y los posteriores las semillas almacenadas en condiciones ambientales

no controladas, período en el cual es de interés evaluar la eficiencia de los tratamientos presiembra y su relación con el vigor de las semillas.

4. Comparar los cambios ocurridos en el vigor (calidad) durante el almacenamiento de las semillas a partir de las variables valoradas.
5. Para el análisis integral de los resultados (estimación del vigor) se utilizó el modelo estadístico propuesto por Torres et al. (2007).

Para el procesamiento de la información obtenida en las dos fases que aparecen posteriormente detalladas, se utiliza el modelo estadístico propuesto por Torres et al. (2007). Haciendo uso de estos criterios estadísticos se empleará la combinación de dos técnicas multivariadas para lograr la explicación de la variabilidad y la expresión del vigor, según los cuales se desarrollan los siguientes pasos:

- a. Con los datos obtenidos de las evaluaciones en el vivero durante un año de evaluación se construye la matriz de datos a procesar.
- b. Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados.
- c. Identificación del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor.
- d. Clasificación de las evaluaciones según los métodos de escarificación (presiembra)

o Primera fase

A partir de los registros diarios de la emergencia de plántulas y de la germinación en el vivero experimental, se interpretan las siguientes variables. Dichas variables fueron seleccionadas a partir del criterio disperso de diferentes autores sobre la relación de cada una de ellas con la expresión del vigor de las semillas y por ende en su relación con la calidad.

- a) Días para el inicio de la emergencia (IE) (Edwards 1980).
- b) Porcentaje de emergencia final para el período de la prueba (Emer) (Perry 1984).
- c) Día pico: día en el que se observó la mayor cantidad de plántulas emergidas (DP) (Murillo 1998).
- d) Emergencia pico: porcentaje máximo de emergencia observado en un mismo día (EP) (Murillo 1998).
- e) Valor de la germinación (VG), determinado por la fórmula propuesta por Djavanshir y Pourbeik (1976).

$$VG = \left( \sum_{i=1}^n Ved_i \right) \left( \frac{Ef}{10N} \right)$$

Donde,

Ved = velocidad de la emergencia diaria, calculada como el porcentaje de la emergencia acumulada entre el número de días desde el inicio de la prueba.

N = frecuencia o número de Ved que se calcularon durante la prueba.

Ef = porcentaje de la emergencia de plántulas al final de la prueba.

- f) Energía de germinación (Ener), tipificada por el valor más alto de la velocidad de emergencia diaria durante la prueba (Czabator 1962).
- g) Tasa de emergencia (TE) expresada en % emergencia.d<sup>-1</sup> (El-Kassaby et al. 1992).

- o Segunda fase

Todas las variables se miden a los 30 días posteriores a la siembra, para lo cual se seleccionan 10 plántulas en cada una de las cuatro repeticiones en cada evaluación (tiempo de almacenamiento) para cada método de escarificación presiembra

- a) altura de la plántula (cm): se utiliza regla graduada
- b) largo sistema radicular (cm): se utiliza regla graduada
- c) longitud hipocótilo (cm): se utiliza pie de rey
- d) peso fresco del sistema radicular (g): se utiliza la balanza analítica con precisión de 0,001 g y los datos fueron expresados en gramos por plántula
- e) peso fresco de la parte aérea (g): ídem al anterior

De todo lo anterior se desprende que el vigor es el punto culminante de la aplicación de esta metodología, el cual siempre está presente en diferente grado de intensidad. De ahí que las semillas se clasificaran en las de vigor alto, medio y bajo.

Las semillas cuya evaluación se corresponde con las de mayor vigor, son aquellas que en las evaluaciones presentan las mejores expresiones de las variables identificadas como de mayor preponderancia en el ACP, es decir, presentan los valores más altos positivos para el índice de eficiencia (EfCP), y con valores más altos en los promedios de dichas variables dentro del grupo en que se ubicaron según el Análisis de Conglomerados. Lo contrario ocurrirá en las de menor vigor y las de vigor medio son las que tendrán comportamiento intermedio. Hasta el momento, y mientras no exista el diseño de un programa interactivo (software) que permita procesar automáticamente todos estos pasos, la apreciación del evaluador es determinante.

## **CONCLUSIONES**

- El almacenamiento de las semillas durante un año fue un método útil a través del cual se pudo determinar la existencia de dormancia y el comportamiento de la viabilidad, la germinación y la emergencia.
- Los ambientes de siembra comparados se inclinan a mostrar una relación más estrecha entre la emergencia y el vivero a pleno sol sin descartar totalmente el vivero con sombreador.
- Los tratamientos pre-siembra seleccionados y aplicados mediante la escarificación seca y húmeda mostraron la eficacia del corte y el remojo, respectivamente, como métodos en general propulsores de la germinación y la emergencia y en la eficiencia del vigor.
- En etapas iniciales del desarrollo (30 días) los tratamientos de escarificación mostraron una influencia diferente de las plantas que lograron sobrevivir a algunos efectos agresivos del ácido sulfúrico y el agua caliente. Es decir, las plantas que superaron la etapa de la germinación y la emergencia tuvieron un comportamiento que, aunque diferente entre los tratamientos presiembra evaluados, fueron normales en cuanto a la expresión de las variables del desarrollo.
- El nuevo concepto integrado y dinámico del vigor se expresa y se interpreta en el tiempo, además de reunir el método, en su conjunto, las características de integralidad, objetividad, sencillez, aplicabilidad, repetibilidad y ser económicamente factible.
- La estrategia desarrollada en la tesis basada en una secuencia experimental lógica permitió elaborar una metodología integrada que condujo a una mayor precisión y alcance en la expresión del vigor de las semillas.

## RECOMENDACIONES

- Emplear el almacenamiento al ambiente de semillas y seleccionar tratamientos pre-siembra y variables biológicas adecuadas para conocer el comportamiento de los diferentes tipos de dormancia, la germinación, la viabilidad, la emergencia y como consecuencia el vigor.
- Aplicar y evaluar la metodología propuesta como parte del desarrollo integral de un Sistema Silvopastoril u otras opciones agropecuarias con *A. lebeck* y otras especies arbóreas.
- Profundizar en los elementos bioquímicos que controlan la calidad de las semillas y que intervienen en el crecimiento y desarrollo temprano de especies arbóreas.
- Diseñar la base teórica y práctica de un sistema computarizado que permita procesar todos los pasos contenidos en la metodología, así como editar materiales didácticos ilustrativos.
- Coordinar con el Ministerio de la Agricultura, y otras instancias para que los resultados integrales que constituyen la metodología sean incorporados a la actual Estrategia Nacional de Semillas de la República de Cuba.
- Se sugiere que, en una Empresa Nacional de Semilla que incluya instalaciones dedicadas a la detección de la calidad de las semillas la aplicación de la metodología generada pudiera contribuir al éxito de las siembras durante el desarrollo de tecnologías destinadas a la producción agropecuaria.
- Incorporar los resultados a los programas de pre y posgrado del Ministerio de Educación, de Agricultura y de Educación Superior de la República de Cuba.

## **NOVEDAD CIENTÍFICA**

- El tema de tesis es de actualidad, y aborda en su desarrollo aspectos esenciales de la calidad y el almacenamiento de semillas, a la luz de nuevos conocimientos y concepciones, de una especie arbórea que se encuentra en fase de estudio e introducción en la práctica social.
- Entre los principales aportes al conocimiento se puede mencionar la nueva concepción e incorporación del término vigor, antes disperso y aislado en un grupo de atributos biológicos, como concepto integrado de la calidad, lo que constituye una forma original e interactiva de evaluación que permite contribuir al desarrollo de sistemas agroforestales no agresivos al ambiente.
- Se utilizó una combinación de artificios matemáticos y atributos biológicos para expresar conceptos no establecidos con anterioridad en la literatura nacional e internacional disponible que dio lugar al desarrollo de una metodología reproducible original y novedosa.
- Es posible incorporar los resultados al documento aprobado por el Ministerio de Agricultura en el año 2000 relacionados con la Tecnología para la producción, beneficio y conservación de las semillas de *A. lebeck*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Baki, A.A. y Anderson, J.D. 1972. Physiological and biochemical deterioration of seeds. En: Seed Biology. Vol. II (T. T. Koslowsky, Ed.). Academic Press, New York. p.283
- Academia de Ciencias de Cuba, 1989. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana. p41
- Albrecht, J. 1993. Tree seed handbook of Kenya. Nairobi, Kenya: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit/Kenya Forestry Seed Centre Maguga, Kenya Forestry Research Institute. 264p.
- Alizaga, R.; Sterling, F. y Herrera, J. 1992. Evaluación del vigor en semillas de maíz y su relación con el comportamiento en el campo. *Agronomía Costarricense*. 16(2):203-210.
- Allen, P.S. y Meyer, S.E. 1998. Ecological aspects of seed dormancy loss. *Seed Sci. Res.* 8:183
- Allen, P.S. y Meyer, S.E. 2002. Ecology and ecological genetics of seed dormancy in downy brome. *Weed Science*. 50:241-247
- Alves, E.U.; Saderz, R.; Bruno, R.L.A. y Alves, A.U. 2004. Dormência e desenvolvimento de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth). *Revista Árbore*. 28(5):665-662
- Anderson, J.D. 1970. Physiological and biochemical differences in deteriorating barley seed. *Crop Sci.* 10:36-39
- Angus, J.F.; Cunningham, R.B.; Moncur, M.W. y Mackenzie, D.H. 1981. Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase. *Field Crops Research*. 3:365-378
- Anon. 2008. Boletín Meteorológico. Estación Indio Hatuey. Instituto Nacional de Meteorología. Cuba
- AOSA. 1983. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution N°. 32. Association of Official Seed Analysts. 93p.
- AOSA. 1992. Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*. 6:1-125.
- AOSA. 2005. Tetrazolium Testing Handbook. Contribuición N° 29 (J. Peters, Ed.). Association of Official Seed Analysts. 32p.
- Aráoz S., del Longo O. y Karlin O. 2004. Germinación de semillas de *Ziziphus mistol* Grisebach. II Respuestas a diferentes temperaturas y luz. *Multequina*. 13:41-46
- Barneby, R.C. y Grimes, J.W. 1996. Silk tree, Guanacaste, Monkey's Earring. A Generic system for the Synadrous *Mimosaceae* of the Americas: Part 1. *Abarema*, *Albizia* and *Allies*. Memoirs of the New York Botanical Garden. 74(1). 291p.
- Baró, I. y Ventosa, I. 1999. Árboles ornamentales. En: Cuba y sus árboles. (Instituto de Ecología y Sistemática, Ed.). Editorial Academia. La Habana, Cuba

- Barros, D.I.; Nunes, H.V.; Fernandes, D.C. y Bhering, M.C. 2002. Comparação entre testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de tomate. *Rev. Bras. Sem.* 24(2):12-16
- Baskin, C.C. y Baskin, J.M. 1998. *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press, San Diego. 666p.
- Baskin, C.C. y Baskin, J.M. 2001. *Seeds: ecology, biogeography of dormancy and germination*. Academic Press. San Diego, USA
- Baskin, C.C. y Baskin, J.M. 2005. Seed dormancy in wild flowers. En *Flower Seeds: Biology and technology* (M. B. McDonald y F. Kwong, Eds.). CABI Wallingford, UK. p.163
- Baskin, C.C.; Thompson, K. y Baskin, J.M. 2006a. Mistakes in germination ecology and how to avoid them. *Seed Sci. Res.* 16:165-168
- Baskin, J.M. y Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 14:1-16.
- Baskin, J.M.; Baskin, C.C. y Dixon, K.W. 2006b. Physical dormancy in the endemic Australian genus *Stylobasium*, a first report for the family Surianaceae (Fabales). *Seed Sci. Res.* 16: 229-232
- Baskin, J.M.; Baskin, C.C. y Li, X. 2000. Taxonomy, ecology, and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology.* 15:139-152.
- Bässler, M. 1998. Flora de la República de Cuba. Fascículo 2 *Mimosaceae*. Serie A. Plantas vasculares. Editorial Koeltz Scientific Books. Koenigstein. Federal Republic of Germany. 206 p.
- Benech-Arnold, R. y Sánchez, R.A. 2004. *Handbook of seed physiology, Applications to agriculture*. Food products press. The Haworth reference press, USA. 480p.
- Bennett, M.A. 2002. Saturated Salt Accelerated Aging (SSAA) and Other Vigor Test for Vegetable Seeds. En: *Seeds: Trade, Production and Technology*. Proceedings International Seed Seminar (M.B. McDonald y S. Contreras, Eds.). Colección de Extensión. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. p 188
- Besnier, F. 1965. *Semillas: Biología y Tecnología*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 394p.
- Betancourt, S.A. 2000. *Árboles maderables exóticos en Cuba*. Editorial Científico- Técnica. La Habana, Cuba. 352p.
- Bethke, P.C.; Libourel, I.G. L. y Jones, R.L. 2006. Nitric oxide reduces seed dormancy in *Arabidopsis*. *J. Exp. Bot.* 57(3):517-526



- Bewley, J.D. 1997. Seed germination and dormancy. *Plant Cell*. 9:1055-1066
- Bewley, J.D. y Black, M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol. II. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag. Berlin. 375p.
- Bewley, J.D. y Black, M. 1994. Seeds. Physiology of development and germination. Second Edition. Plenum Press, New York - London. 445p.
- Bhat, K.M. 1997. Wood properties and utilization of Indian *Albizia* species: An assessment in the context of species selection for planting. En: Proceedings of an International Workshop 'Albizia and Paraserianthes species'. (N. Q. Zabala, Ed.). Forest, Farm and Community Tree Network (FACT Net), Winrock International. Morrilton, Arkansas
- Bhering, M.C.; Dias, D.C.F.S.; de Souza, D. y Portocarrero, D. 2006. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de pimenta. *Rev. Bras. Sem.* 28(3):64-71
- Black, M.; Bewley, J.D. y Halmer, P. 2006. The Encyclopedia of Seeds. Science, Technology and Uses. CAB International. London, UK
- Bonner, F.T. 1998. Testing tree seeds for vigor: A Review. *Seed Technology*. 20:5-17
- Bowen, M.R. y Eusebio, T.V. 1981. *Acacia mangium*: updated information on seed collection, handling, and germination testing. Occasional technical and scientific notes, Seed Series 5. FAO/UNDP-MAL/78/009. Sandakan, Sabah, Indonesia: Forest Research Centre. 26 p.
- Bradford K.J. 2005. Threshold models applied to seed germination ecology. *New Phytologist* 165: 338-341.
- Bradford, K.J. 2006. Germination: internal factors affecting (physical, physiological, molecular and biochemical). En: The Encyclopedia of Seeds. Science, Technology and Uses (J.D. Bewley, M. Black y P. Halmer, Eds.). CABI Publishing. Wallingford, UK.
- Bradford, K.J. 2007. Seed biotechnology: Translating promise into practice. En: Seeds: Biology, Development and Ecology (S. Adkins, S. Ashmore y S. Navie, Eds.). CAB International. Wallingford, U.K. p. 130
- Bradford, K.J., Argyris, J.; Dahal, P. y O'Brien, L. 2006. Genetics, regulation and modeling of seed dormancy. Abstracts, 26th Annual Meeting of the Argentine Society of Plant Biologists. October 4-6, 2006. Chascomus, Argentina.
- Bradford, K.J. y Cohn, M.A. 1998. Seed biology and technology: At the crossroads and beyond. *Seed Sci. Res.* 8:153
- Brown, R.F. 1987. Germination of *Aristida armata* under constant and alternating temperatures and its analysis with the cumulative Weibull distribution as a model. *Aust. J. Bot.* 35:581-589
- Brown, R.F. y Mayer, D.G. 1988. Representing cumulative germination. 2. The Use of the Weibull function and other empirically derived curves. *Ann. Bot.* 61:127-138

- Bruggink, G. T.; Ooms, J. J. J. y van der Toorn, P. 1999. Induction of longevity in primed seeds. *Seed Sci. Res.* 9:49-58
- Burrows, D. y Prinsen, J.D. 1992. Performance and palatability of various Australian trees and shrubs. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports.* 10:33
- Bush, M.S.; Jara, L.F. y Franco, E. 1997. Viabilidad de las semillas pretratadas de *Caesalpinia cyclocarpum* (J.) Griseb y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales.* 16:8-10
- Cáceres, O. 1998. Valor nutritivo de follaje de árboles y arbustos tropicales. III. *Albizia lebbeck*. *Pastos y Forrajes.* 21(1):93-98
- Carberry, P.S. y Campbell, L.C. 1989. Temperature parameters useful for modeling the germination and emergence of pearl millet. *Crop Sci.:* 29:220-223
- Carraro, D.M. 1990. Variação e herança dos padrões eletroforéticos em órgãos e estágios de desenvolvimento em milho (*Zea mays* L.) Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 121p.
- Carvalho, N.M. y Nakagawa, J. 2000. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP. 588 p.
- Castellani, E.D. y Aguiar, I. B. 1998. Condições preliminares para a germinação de sementes de candiúba (*Trema micrantha* (L.) Blume). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* 2:80-83
- CATIE. 2000a. Técnicas para la germinación de semillas forestales. Serie Técnica. Manual Técnico N° 39. CATIE-PROSEFOR-DFSC. Turrialba, Costa Rica. 54 p.
- CATIE. 2000b. Técnicas para la escarificación de semillas forestales. Serie Técnica. Manual Técnico N° 36. CATIE-PROSEFOR-DFSC. Turrialba, Costa Rica. 57 p.
- CATIE. 2000c. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Volumen 1. Serie Técnica. Manual Técnico N° 41. CATIE-PROSEFOR-DFSC. Turrialba, Costa Rica. 204 p.
- Cerabolini, B.; de Andreis, R.; Ceriani, R.M.; Pierce, S. y Raimondi, B. 2004. Seed germination and conservation of endangered species from the Italian Alps: *Physoplexis comosa* and *Primula glaucescens*. *Biological Conservation.* 117(3):351-356
- Chai, J.; Ma, R.; Li, L. y Du, Y. 1998. Optimum moisture contents of seed stored at ambient temperatures. En: *Seed Storage Behaviour* (J. Engels y F. Engelmann, Eds.) CAB International. UK.
- Chauhan, K.P.S.; Gopinathan, M.C. y Babu, C.R. 1985. Electrophoretic variations of proteins and enzymes in relation to seed quality. *Seed Sci. Technol.* 13:629-641

- Cirak, C.; Kevseroğlu, K. y Ayan, A. K. 2007. Breaking of seed dormancy in a Turkish endemic *Hypericum* species: *Hypericum aviculariifolium* subs. *depilatum* var. *depilatum* by light and some pre-soaking treatments. *Journal of Arid Environments*. 68:159-164
- Clavero, T. 1998. Alternativas para la alimentación animal. *Leucaena leucocephala*. Universidad de Zulia. Fundación Polar. Caracas, Venezuela. 78 p.
- Cohn, M.A. 2006. Dormancy: an overview. En: *The Encyclopedia of Seeds: Science, Technology and Uses* (J.D. Bewley, M. Black y P. Halmer, Eds.). CABI Publishing. Wallingford, UK.
- Côme, D. 1970. *Les obstacles à la germination*. Masson et Cie editores, Paris. 162 p.
- Copeland, A. D. y McDonald, M. B. 2001. *Principles of Seed Science and Technology*. 4<sup>th</sup> ed. Kluwer Academic Publishers, EUA. 467p.
- Costa, P. de S.C. y Carvalho, M.L.M. 2006. Teste de condutividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.) *Ciê. Agrotec.* 30(1):92-96
- Cover, S.; Ellis, R.H.; Roberts, E.H. y Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. *J. Exp. Bot.* 37:705-715
- Crespo, G. y Fraga, S. 2002. Nota técnica acerca del aporte de hojarasca y nutrientes al suelo por las especies *Cajanus cajan* (L.) Millsp y *Albizia lebeck* (L.) Benth en sistemas silvopastoriles. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36(4):397-402
- Czabator, F.J. 1962. Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*. 8:386-396
- Dalling, J.W. y Hubbell, S.P. 2002. Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology*. 90:557-568
- de Haan, C.; Steinfeld, H. y Blackburn, H. 1997. *Livestock and the environment*. European Commission Directorate-General for Development. Development Policy, Sustainable Development and Natural Resources, 115 p.
- de Menezes, N.L.; Franzin, S.M.; Roversi, T. y Nunes, E. P. 2004. Germinação de sementes de *Salvia splendens* Sellow em diferentes temperaturas e qualidades de luz. *Rev. Bras. Sem.* 26(1):32-37
- Delouche, J.C. 1976. Standardization of vigor tests. *Journal of Seed Technology*. 1(2):75-86
- Delouche, J.C. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Revista SEED News*. nov/dic. [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66\\_esp.shtml](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66_esp.shtml)
- Delouche, J.C. 2005. Calidad y desempeño de la semilla. *Revista SEED News*. sept/oct. [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed95/artigocapa95\\_esp.shtml](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed95/artigocapa95_esp.shtml)

- Dias, D.C.F.S. 2005. Dormancia en semillas. Revista SEED News. IX (4).  
[http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed94/artigocapa94\\_esp.shtml](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed94/artigocapa94_esp.shtml)
- Dias, D.C.F.S. y Alvarenga, E. M. 1999. Teste de germinação a baixa temperatura. En: Vigor de sementes: conceitos e testes (F.C. Krzyzanowski, R.D. Vieira y J. de B. França-Neto, Eds.). ABRATES. Londrina, Brasil. p. 101
- Djavanshir, K. y Pourbeik, H. 1976. Germination value-a new formula. *Silvae Genetica*. 25:79-83
- Duncan, D. B. 1955. Multiple ranges and multiple F. *Test. Biometric*.11:1-42
- Edwards, D.G.W. 1980. Maturity and quality of tree seeds -a state of the art-. Review. *Seed Sci. Technol.* 8:625-657
- Egley, G.H y Duke, S. 1987. Weed physiology. Vol. I. Reproduction and ecophysiology. Amsterdam Press. The Netherlands. 245 p.
- Egli, D.B. y Tekrony, D. M. 1997. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. *Seed Sci. Res.* 7:3
- El-Kassaby Y. A.; Edwards, D.G.W. y Taylor, D. W. 1992. Genetic control of germination in Douglas-fir and its importance for domestication. *Silvae Genetica* 41:48-54
- Ellis, R.H. y Barrett, S., 1994. Alternating temperatures and the rate of seed germination in lentil. *Ann. Bot.* 74:129-136.
- Ellis, R.H.; Hong, T.D. y Roberts, E. 1990. An intermediate category of seed storage behaviour?. I. Coffee. *J. Exp. Bot.* 41:1167-1174
- Esau, K. 2000. Estudios de germinación en Jaúl y Cenízaro. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 24:1-3
- Fairbrother, T.E. 1991. Effect of fluctuating temperatures and humidity on the softening rate of hard seed of subterranean clover *Trifolium subterraneum* L. *Seed Sci. Technol.* 19(1):93-105
- Fariñas, J.D.; Sanabria, D. y Silva-Acuña, R. 1997. Escarificación química de semillas de tres especies de *Centrosema* para sabanas bien drenadas. *Zootecnia Tropical*. 15(2):221-237
- Febles, G. y Ruiz, T.E. 2003. Sistemas silvopastoriles, una opción sustentable. En: Memorias del Curso. Instituto de Ciencia Animal. Tantakin. México. p 6
- Febles, G. y Ruiz, T.E. 2008. Introducción de los árboles en los potreros. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. En prensa
- Febles, G.; Torres, V.; Ruiz, T.; Martínez, L.; Díaz, H. y Noda, A. 2003. Empleo del análisis multivariado para evaluar la producción de semillas en accesiones de *Leucaena leucocephala* en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 38(3):303-309
- Fenner, M. 1985. Seed ecology. Chapman y Hall, London. 151 p.

- Fenner, M. y Thompson, K. 2005. *The Ecology of Seeds*. Cambridge University Press. 250p.
- Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigour testing. En: *Seed vigour testing seminar* (H. A. van de Venter, Ed.). International Seed Testing Association. Zurich. p. 14
- Foley, M.E. 2001. Seed dormancy: An update on terminology, physiological genetics, and quantitative trait loci regulating germinability. *Weed Science* 49:305-317.
- Foley, M.E. y Fennimore, S.A. 1998. Genetic basis for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 8:173-182
- Forcella, K.; Benech, R.L.; Sánchez, R. y Ghera, C.M. 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*. 67:123-139
- Funes, F.; Yañez, S. y Zambrana, T. 1998. *Semillas de pastos y forrajes tropicales. Métodos prácticos para su producción sostenible*. ACPA. La Habana, Cuba. 138p.
- Galindo, J. 2008. Determinación de metano en rumen. Comunicación personal. Instituto de Ciencia Animal, Cuba
- Geneve, R. L. 2003. Impact of temperature on seed dormancy. *HortScience*. 38:336-341
- Geneve, R.L. 2004. Vigor testing in flower seeds. En: *Flower Seeds, Biology and Technology* (M.B. McDonald y F. Kwong, Eds.). CAB International. London. p. 311
- Gomes, S.M.S. y Bruno, R.L.A. 1992. Influência da temperatura e substratos na germinação de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.). *Rev. Bras. Sem.* 14:47-50
- Gonçalves, E.P.; Alves, E.U.; da Silva, M.A. y Vanzolini, S. 2006. Temperatura, beneficiamento e superação de dormência sobre o potencial fisiológico de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). *Sitientibus Série Ciências Biológicas* 6(1):45-49
- González, Y. y Hernández, A. 2000. Ruptura de dormancia en semillas de *Albizia lebeck*. Memorias IV Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería tropical". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 27
- González, Y.; Hernández, A. y Mendoza, F. 1998. Comportamiento de la germinación y la viabilidad de las semillas de leguminosas arbustivas. I. *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. Memorias III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 107
- González, Y. y Navarro, M. 2001. Efecto de los tratamientos pregerminativos sobre la ruptura de dormancia en *Albizia lebeck*. *Pastos y Forrajes*. 24:225-228
- Grus, V.M.; Demattê, M.E.S.P. y Graciano, T.T. 1984. Germinação de sementes de pau-ferro e cássia-javanesa submetidas a tratamentos para quebra de dormência. *Rev. Bras. Sem.* 6(2):29-35.

- Guretzky, J.A.; Moore, K.J.; Knapp, A.D. y Brummer, E.C. 2004. Emergence and survival of legumes seeded into pastures varying in landscape position. *Crop Sci.* 44:227-233
- Gutterman, Y. 1993. Seed Germination in Desert Plants. Springer, Berlin. 253p.
- Hair, J.K.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. y Black, W.C. 1999. Análisis multivariante. 5<sup>ta</sup> ed. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 832p.
- Hampton, J.G. y Tekrony, D.M. 1995. Handbook of vigour test methods. 3<sup>rd</sup> Edition. International Seed Testing Association. Zürich, Switzerland. 117p.
- Handley, R.J. y Davy, A.J. 2005. Temperature effects on seed maturity and dormancy cycles in an aquatic plant, *Najas marina*, at the edge of its range. *Journal of Ecology* 93:1185-1193
- Harada, J.J. 1997. Seed maturation and control of germination. En: Cellular and molecular biology of plant seed development. (B.A. Larkin y I.K. Vasil, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p. 545
- Harper, J.L. 1957. The ecological significance of dormancy and its importance in weed control. Proceedings of the international congress on crop protection (Hamburg) 4:415-420.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press. New York. 892p.
- Harrington, J.F. 1972. Seed storage and longevity. En: Seed Biology Vol. 3. (T.T. Kozlowski, Ed.). Academic Press. London, U.K. p. 145
- Hartmann, H.T. y Kester, D.E. 2000. Propagación de plantas. Principios prácticos. 8<sup>a</sup> edición. Editorial continental. México. 760p.
- Hartmann, H.T.; Kester, D.E.; Davies, F T. y Geneve, R.L. 1997. Plant propagation, principles and practices. Prentice-Hall International, London. 770 p.
- Hechavarría, O.; Rodríguez, E.; Morales, N.; Vera, N.; Espín, G.; Corrales, B.; Fuentes, V. y Pérez, A. 2000. Calendario fenológico de 51 especies forestales de Cuba. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 23:5-9
- Hernández, A. y colaboradores. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ciudad de La Habana, Cuba. 64 p.
- Hernández, L.F.; Caro, L. A. y Lauric, V. 1996. Germinación de semillas de *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz. Combinación de métodos de escarificación y temperatura. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 15:3-5
- Hernández, L.F. y Paoloni, P.J. 1998. Germinación y emergencia de cuatro híbridos de Girasol (*Helianthus annuus* L.) con diferente contenido lipídico y en relación con la temperatura. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 13(3):345-358

- Hilhorst, H.W.M. 2007. Are dormant seeds lazy and germinating seeds not?. En: *Seeds: Biology, Development and Ecology* (S. Adkins, S. Ashmore y S. Navie, Eds.). CAB International. Wallingford, U.K. p. 188
- Hilhorst, H.W.M. y Bradford, K.J. 2000. *Seed physiology*. International Course on Seed Production and Seed Technology. IAC. Wageningen, The Netherlands. 74 p.
- Hilhorst, H.W.M.; Derkx, M.P.M. y Karssen, C.M. 1996. An integrating model for seed dormancy cycling: characterization of reversible sensitivity. En: *Plant dormancy: physiology, biochemistry and molecular biology*. (G.A. Lang, Ed.). CAB International. Wallingford, UK. p. 341
- Hilhorst, H.W.M. y Toorop, P.E. 1997. Review on dormancy, germinability, and germination in crop and weed seeds. *Advances in Agronomy*. 61:111-165
- Hong, T.D. y Ellis, R.D. 1996. A protocol to determine seed storage behaviour. IPGRI Technical Bulletin N° 1 (J.M.M. Engels y J. Toll, Eds.) IPGRI. Roma, Italia. 62 p.
- Huang, C.H. y Yang, C.M. 1995. Use of Weibull function to quantify temperature effect on soybean germination. *Chinese Agronomy Journal*. 5:25-34
- Iglesias, J.M.; Castillo, E.; Valdés, L. R.; Valdés, G.; Simón, L.; Hernández, C. A.; Hernández, D.; Ruiz, T.E. y Hernández, I. 2006. Sistemas de pastoreo para el engorde bovino. En: *Recursos forrajeros, herbáceos y arbóreos*. Editorial Universitaria. Colección Textos Universitarios. USC Guatemala. p. 386
- Iriondo, J.M. 2001. Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 16:5-9
- ISTA. 1995. *Handbook of vigour test methods*. International Seed Testing Association. Zürich. 117p.
- ISTA. 1999. *International rules for seed testing*. *Seed Sci. Technol.* 27. Supplement.
- ISTA. 2001. *International Seed Testing Association Rules Amendments 2001*. *Seed Sci. Technol.* 29 (Suppl):113-121.
- Jianhua, Z. y McDonald, M.B. 1996. The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. *Seed Sci. Technol.* 25(1):123-131
- Johnston, M.; Olivares, A.; Henríquez, C. y Fernández, G. 1997. Factores abióticos en la germinación de terófitas de interés forrajero. *Phyton*. 60:63-66
- Jøker, D. 2000. *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. Seed Leaflet No. 7 (September). DFSC. 2 p.
- Kaitho, R.J.; Umunna, N.N.; Nsahlai, I.V.; Tamminga, S.; van Bruchen, J. y Hanson, J. 1997. Palatability of wilted and dried multipurpose tree species fed to sheep and goats. *Animal Feed Science and Technology*. 65:151

- Kannan, C.S.; Sudhakara, K.; Augustine, A. y Ashokan, P.K. 1996. Seed dormancy and pre-treatments to enhance germination in select *Albizia* species. *Journal of Tropical Forest Science*. 8:369
- Kettenring, K.M. y Galatowitsch, S.M. 2007. Temperature requirements for dormancy break and seed germination vary greatly among 14 wetland *Carex* species. *Aquatic Botany*. 87:209-220
- Khurana, E. y Singh, J.S. 2001. Ecology of tree seed and seedlings: implications for tropical forest conservation and restoration. *Curr. Sci.* 80(6):748-757
- Kigel J. 1995. Seed germination in arid and semiarid regions. En: Seed development and germination (J. Kigel y G. Galili, Eds.). Marcel Dekker Inc. New York. p. 645
- Krzyzanowski, F.C. y Miranda, Z.F.S. 1990. Relatório do Comitê de Vigor da ABRATES. *Informativo ABRATES*. 1:7-25
- Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D. y França Neto, J.B. 1999. Vigor de sementes: conceitos e testes. ABRATES. Londrina, Brasil. 218 p.
- Lamela, L. y Simón, L. 1998. Utilización de harina de legumbres de *Albizia lebbbeck* como suplemento en vacas lecheras. *Pastos y Forrajes*. 21(4):355-358
- Lang, G.A. 1987. Dormancy: A new universal terminology. *HortScience* 22: 817-820
- Lang, G.A. 1996. Plant dormancy: physiology, biochemistry and molecular biology. CAB International. Wallingford, UK
- Lang, G.A.; Early, J.D.; Arroyave, N.J.; Darnell, R.L.; Martin, G.C. y Stutte, G.W. 1985. Dormancy: Toward a reduced, universal terminology. *HortScience*. 20:809-812
- Lang, G.A.; Early, J.D.; Martin, G.C. y Darnell, R.L. 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22: 371-377.
- Larby, A.; Smith, J.W.; Kurdi, I.O.; Adekunle, I.O.; Raji, A.M. y Ladipo, D.O. 1996. Feed value of multipurpose fodder trees and shrubs in West Africa: edible forage production and nutritive value of *Millettia thonningii* and *Albizia lebbbeck*. *Agroforestry Systems*. 33:41
- Laskowski, L. y Bautista, D. 2002. Efecto de la escarificación y profundidad de siembra sobre la germinación y emergencia de *Malpighia emarginata* DC. *Bioagro*. 14(2):77-83
- Leadem, C.L. 1997. Dormancy-Unlocking seed secrets. En: National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. (Landis, T.D.; Thompson, J.R., Eds.) Gen. Tech. Rep. PNWG TR-419. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 43-52



- Leon, R.G.; Knapp, A.D. y Owen, M.D.K. 2004. Effect of temperature on the germination of common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*), giant foxtail (*Setaria faberi*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*. 52:67-73
- Li, B. y Foley, M.E. 1997. Genetic and molecular control of seed dormancy. *Trends in Plant Science*. 2:384-389
- Lima, C.B.; Athanázio, J.C. y Bellettini, N.M.T. 2006. Germinação e vigor de sementes de alfavaca-cravo (*Ocimum gratissimum* L.) submetidas ao envelhecimento acelerado. *Ciências Agrárias*. 27(2):159-170
- Loch, D.S.; Adkins, S.W.; Heslehurst, M.R.; Paterson, M.F. y Bellairs, S.M. 2004. Seed formation, Development and Germination in tropical and subtropical species. CAB International, Wallingford, UK. p. 95
- Loch, D.S; Bhatl, R.K.; Ramamurthy, V.; Jain, R.K. y Hagggar, R.J. 2000. Forage seed production pilot project 1997-99. *International Herbage Seed Production Newsletter*. 32:12-15
- Lowry, J.B.; Prinse, J.H. y Burrows, D.M. 1994. *Albizia lebbbeck* -a promising forage tree for semiarid regions. In: Forage tree legumes in tropical agriculture. (Gutteridge R.C. y Shelton, H.M., Eds.). CAB International. Wallingford, UK
- Lowry, J.B.; Schlink, A.C. y Hoffman, D. 1992. Evaluation of three tropical legumes in diets for growing rabbits. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 5:257
- Mandal, A.K.; De, B.K.; Saha, R. y Basu, R.N. 2000. Seed invigoration treatments for improved storability, field emergence and productivity of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.). *Seed Sci. Technol.* 28:349-355.
- Marcos Filho, J. 1998. New approaches to seed vigor testing. *Scientia Agricola*. 55:27-33
- Marcos Filho, J. 1999. Testes de vigor: importância e utilização. In: Vigor de sementes: conceitos e testes. (F.C. Krzyzanowski, R.D. Vieira y J.B. França Neto, Eds.) ABRATES. Londrina, Brasil. p.24
- Marcos Filho, J.; Novembre, A.D.C. y Chamma, H.M.C.P. 2001. Testes de envelhecimento acelerado e de deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de soja. *Scientia Agricola*. 58(2):421-426
- Mari, E.K.A. y Neiff, J. J. 2006. Efectos de algunos factores ambientales sobre la emergencia de plántulas en un bosque de la llanura de inundación del Bajo Paraná. Resumen: B-006. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.
- Martin R.C.; Liu, P.P. y Nonogaki, H. 2006. MicroRNAs in seeds - Detection techniques and applications. *Can. J. Bot.* 84:189-198

- Masamba, C. 1994. Presowing treatments on four African *Acacia* species: appropriate technology for use in forestry for rural development. *Forest Ecology and Management* 64:105
- Matías, C. 1998. Determinación del marco de siembra óptimo para la producción de semillas de *Albizia lebbbeck*. *Pastos y Forrajes*. 21:67
- Matías, C. 2000. Influencia de la altura de poda en la producción y calidad de la semilla de *Albizia lebbbeck*. *Pastos y Forrajes*. 23(1):33-37
- Matthews, S. 1980. Controlled deterioration: a new vigour test for crop seeds. En: Seed production (P. D. Herbbblethwaite, Ed.). Butterworths. London. p.647
- McDonald, M.B. 1980. Assessment of seed quality. *HortScience* 15: 784- 788.
- McDonald, M.B. 2000. Seed Priming. En: Seed Technology and Its Biological Basis (M. Black y J. D. Bewley, Eds.). Sheffield Academic Press. UK. p 287
- McDonald, M.B. 2005. Flower seed deterioration. En: Flower Seeds: Biology and Technology (M.B. McDonald y F. Kwong, Eds.). CABI Publishing Co. Wallingford, UK.
- McDonald, M.B. 2006. Physiological causes of seed deterioration in storage. Crop Science. Society American Annual Meeting. Indianapolis, USA.
- McGrath, J.M. 2003. Plant breeding and the promise of genomics. *Applied Biotechnology, Food Science and Policy*. 1:207-211
- Mingues, M.C.; Moure, S. y de Melo, M. 2000. Alterações bioquímicas e fisiológicas em sementes de milho causadas pelo ao envelhecimento acelerado. *Scientia Agricola*. 57(2): 263-270
- Molina, M.; Brenes, G. y Morales, D. 1996. Descripción y viverización de 14 especies forestales nativas del bosque tropical seco. San José, Costa Rica: Ed. Esfera. 91p.
- Morrison, D.A.; McClay, K.; Porter, C. y Rish, S. 1998. The role of the lens in controlling heat-induced breakdown of testa-imposed dormancy in native Australian legumes. *Ann. Bot.* 82:35-40
- Msanga, H.P. 1998. Seed germination of indigenous trees in Tanzania. Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre. Edmonton, Canada. 292 p.
- Muasya, R.M.; Lommen, W.J.M. y Struik, P.C. 2002. Differences in development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops and pods fractions within a crop. II. Seed viability and vigor. *Field Crops Research*. 75:79-89
- Murcia, M.; Peretti, A.; San Martin, S. y Pereyra, V. 2001. Vigor de semillas y emergencia a campo de girasol (*Helianthus annuus* L.) en siembras anticipadas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Rev. Bras. Sem.* 23(2):263-267

- Murgueitio, E.; Rosales, M. & Gómez, M.E. 2001. Agroforestería para la producción animal sostenible. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 67 p.
- Murillo, O. 1998. Variación en parámetros de germinación de una población natural de *Alnus acuminata* de Guatemala. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 19:4-8
- Navarro, M. y Febles, G. 2008. Efecto de los factores bióticos y abióticos en la emergencia de plántulas de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. En prensa
- Navarro, M. y González, Y. 2000. Condiciones óptimas para la germinación efectiva de *Albizia lebbbeck*. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 24:6-8
- Navarro, M. y González, Y. 2001. Capacidad germinativa de las semillas de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. I. Dinámica y variabilidad. *Pastos y Forrajes*. 24(3):217-224
- Navarro, M. y Lezcano, J. C. 2007. Efecto del método de secado en la longevidad y calidad de las semillas de *Bauhinia purpurea*. I. Almacenamiento en condiciones ambientales. *Pastos y Forrajes*. 30(4):437-446
- Navarro, M.; Pérez, A.; González, Y. y Lezcano. 2006. Longevidad y calidad de las semillas de árboles leguminosos empleados en los sistemas agrosilvopastoriles en Cuba. Memorias IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería Pecuaria para la producción pecuaria sostenible. 24-28 octubre de 2006. Varadero, Cuba
- Naylor, J.M. y Jana, S. 1976. Genetic adaptation for dormancy in *Avena fatua*. *Can J. Bot.* 54:306-312
- Nielsen, I. 1992. *Albizia*. *Flora Malesiana*, ser. I., 11:64
- Nikolaeva, M.G. 1969. Physiology of deep dormancy in seeds. Leningrad, Russia, Izdatel'stvo 'Nauka'. (Traducción al Inglés por Z. Shapiro, National Science Foundation, Washington, DC.)
- Nikolaeva, M.G. 1977. Factors controlling the seed dormancy pattern. En: The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination (A.A. Khan, Ed.). North-Holland. Amsterdam. p. 54
- Nikolaeva, M.G. 2001. Ecological and physiological aspects of seed dormancy and germination (review of investigations for the last century). *Botanicheskii Zhurnal* 86:1-14 (en Ruso con resumen en Inglés).
- Nikolaeva, A. y Antípova, O.V. 1986. Water-controlled processes preparing for radicle profusion during seed germination of *Vicia faba* minor. Proceedings of XXI International Congress of Seed Testing Association. Brisbane, Australia. p. 45

- Nikolaeva, M.G.; Lyanguzova, I.V. y Pozdova, L.M. 1999. Biology of seeds. St. Petersburg, V. L. Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences (en Ruso con resumen y tabla de contenido en Inglés).
- Nikolaeva, M.G.; Rasumova, M.V. y Gladkova, V.N. 1985. Reference book on dormant seed germination. (M.F. Danilova, Ed.). Leningrad, 'Nauka' Publishers (en Ruso).
- Nonogaki, H. 2006. Seed Germination - The biochemical and molecular mechanisms. *Breeding Science* 56:93-105
- Nonogaki, H. y Bradford, K.J. 2003. Tissue printing for localization of mRNA expression in seeds. En: The Biology of Seeds: Recent Research Advances (G. Nicolas, K.J. Bradford, D. Come y H.W. Pritchard, Eds.). CABI Publishers. Wallingford, UK. p. 171
- Norman, H.C.; Cocks, P.S. y Galwey, N.W. 2002. Hardseedness in annual clovers: variation between populations from wet and dry environments. *Aust. J. Agric. Res.* 53:821-829.
- Obis, T. 1998. Análisis factorial, discriminante y cluster. Técnicas de investigación. Publicación docente. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona. 71 p.
- Orozco-Segovia, A. y Vázquez-Yanes, C. 1992. Los sentidos de las plantas. La sensibilidad de las semillas a la luz. *Ciencia.* 43:399
- Otegui, M.B.; Pérez, M.A. y de Souza, M. 2005. Efecto de la temperatura y la luz en la germinación de semillas de *Paspalum guenoarum*. *Rev. Bras. Sem.* 27(1):190-194
- Pacheco, M.V.; Matos, V.P.; Ferreira, R.L.; Feliciano, A.L.P. y Silva Pinto, K.M. 2006. Efeito de temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) *Revista Árvore.* 30(3):359-367
- Page, E.R.; Gallagher, R.S.; Kemanian, A.R.; Zhang, H. y Fuerst, E.P. 2006. Modeling site-specific wild oat (*Avena fatua*) emergence across a variable landscape. *Weed Science.* 54:838-846
- Paneque, P.V.; Calderon, M.; Calaña, N.J.; Caruncho, C.M.; Hernández, P.Y. y Borges, Y. 2002. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba. 96p.
- Paretas, J.J. y López, M. 2006. Regionalización de gramíneas, leguminosas y árboles multipropósitos. En: Recursos forrajeros, herbáceos y arbóreos. Editorial Universitaria. Colección Textos Universitarios. USC Guatemala. p. 37
- Peretti, A. 1994. Manual para análisis de semillas. Editorial Hemisferio Sur S. A. Buenos Aires, Argentina. 121 p.
- Perry, D.A. 1972. Seed vigour and field establishment. *Horticultural Abstract.* 42(1-4):334-342

- Perry, D.A. 1981. Handbook of vigour test methods. International Seed Testing Association. Zürich, Switzerland. 72 p.
- Perry, D.A. 1984. Manual de métodos de ensayos de vigor. Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 56p.
- Pollock, B.M. y Roos, E.E. 1972. Seed and Seedling Vigor. En: Seed Biology. Vol. I. Importance, development and germination (Kozlowski, T.T., Ed.) Academic Press. New York-London. p. 314
- Poulsen, K.; Parrat, M. y Gosling, P. 1998. Tropical and subtropical tree and shrub seed handbook. 1<sup>st</sup> edition. International Seed Testing Association. Zürich, Switzerland. 204p.
- Poulsen, K. 2000. Análisis de semillas. En: Técnicas para la escarificación de semillas forestales. Serie Técnica. Manual Técnico N° 36. CATIE-PROSEFOR-DFSC. Turrialba, Costa Rica
- Poulsen, K. y Stubsgaard, F. 2000. Tres métodos de escarificación mecánica de semillas de testa dura. En: Técnicas para la escarificación de semillas forestales. Serie Técnica. Manual Técnico N° 36. CATIE-PROSEFOR-DFSC. Turrialba, Costa Rica
- Poulsen, K. y Thomsen, K. 1999. Seed handling manual. Guidelines and logbook for seed processing. DFSC Technical Note N° 54. Danida Forest Seed Centre, Denmark. 19 p.
- Powell, A.A. y Matthews, S. 1984. Application of the controlled deterioration vigour test to detect seed lots of Brussels sprouts with low potential for storage under commercial conditions. *Seed Sci. Technol.* 12(2):649-657
- Powell, H. 1997. *Calliandra calothyrsus* production and use. A field manual. Winrock International Institute for Agricultural Development. Arkansas, USA. 62 p.
- Priestley, D.A. 1986. Seed aging. Comstock Publishing Associates. Ithaca NY-London 129 p.
- Probert, R.J. 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. En: Seeds: The ecology of regeneration in plant communities (M. Fenner, Ed.). CABI Publishing. Wallingford. p. 261
- Rajasekaran, R.; Balamurugan, P. y Reshma. 2005. Effect of eco-friendly seed treatments and container on storability of niger (*Guizotia abyssinica* L.f. Cass.) cv. Paiyur 1. *Madras Agric. J.* 92(1-3):95-100
- Rienzo, J.A.; Balzarín, M.; Casanoves, F.; González, L.; Tablada, M.; Washington, G. y Robledo, C. W. 2001. InfoStat versión 1. Software Estadístico. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina
- Rink, G.; Dell, T.R.; Switzer, G. y Bonner, F.T. 1979. Use of the Weibull function to quantify sweetgum germination data. *Silvae Genetica.* 28:1

- Roberts, E.H. 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed Sci. Technol.* 1:499-514
- Rodríguez, I.; Torres, V.; Crespo, G. y Fraga, S. 2000. Biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 36(4):403-408
- Roshetko, J.M. 1998. Albizia and Paraserianthes Production and Use: A field manual. Forest, Farm and Community Tree Network. Winrock International Institute for Agricultural Development. Arkansas, USA. 67 p.
- Ruiz, T.E. y Febles, G. 2003. Establecimiento de especies árboles y arbustos tropicales: Siembra, manejo para el establecimiento y puesta en explotación. Curso: Sistemas silvopastoriles, una opción sostenible. Tantakin, México. p. 36
- Ruiz, T.E.; Febles, G.; Jordán, H. y Castillo, E. 2005. Las leguminosas: sus posibilidades para implantar sistemas ganaderos sostenibles. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 39:501-514
- Sacandé, M. 2000. Stress, storage and survival of Neem seed. PhD thesis of Wageningen University. 124p.
- Sacandé, M. 2002. Stress, storage & survival of neem seed. PhD thesis of Wageningen University. Wageningen, The Netherlands. 124 p.
- Salinas, A.R.; Yoldjian, A.M.; Craviotto, R.M. y Bisaro, V. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesq. Agropec. Bras.* 36(2):371-379
- Sanabria, D.; Silva-Acuña, R.; Alfaro, C. y Oliveros, M. 1997. Escarificación térmica de semillas de tres accesiones de *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical.* 15(2):67-80
- Sanabria, D.; Silva-Acuña, R.; Oliveros, M. y Barrios, R. 2001. Evaluación del tiempo de germinación en semillas subterráneas de *Centrosema rotundifolium*, tratadas con métodos de escarificación. *Bioagro* 13(3):117-124
- Sanabria, D.; Silva-Acuña, R.; Oliveros, M. y Manrique. 2004 Germinación de semillas de las leguminosas arbustivas forrajeras *Cratylia argentea* y *Cassia moschata* sometidas a inmersión en ácido sulfúrico. *Bioagro.* 16(3):225-230
- Sánchez, M.S.; López, Y. & Ferguson, I. E. 1996. Dinámica de la latencia en semillas de *Brachiaria dictyoneura* (Fig. & Not.) Staff cv. Llanero. *Acta Agronómica.* 46:15
- Sanhewe, A.J. y Ellis, R.H. 1996. Seed development and maturation in *Phaseolus vulgaris*. II. Post-harvest longevity in air-dry storage. *J. Exp. Bot.* 47:959
- Santana, H.; Soca, M.; Simón, L. y Cáceres, O. 1998. Efecto del follaje de *Albizia lebbeck* sobre el valor nutritivo de una dieta de king grass. *Pastos y Forrajes.* 21(1):87-92
- Schlink, A.C.; Lowry, J.D. y Gibson, D.S. 1991. Products from the tree legume *Albizia lebbeck* as supplements for sheep in the dry tropics. *Proceedings of Australian Society of Animal Production.* 18:546

- Schlönvoigt, A. 1998. Sistema taungya. Materiales de Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. 116 p.
- Schmidt, L. 1988. A study of natural regeneration of transitional lowland rain forest and dry bushland in Kenya. MSc. Thesis. University of Aarhus. Copenhagen, Denmark. 93 p.
- Schmidt, L. 2000. Handling of tropical and subtropical forest tree seed. DFSC. Hummleback, Denmark. 511 p.
- Scott, S.T.; Jones, R.A. y Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*. 24:1192-1199
- Shah, F.S.; Watson, C.E. y Cabrera, E.R. 2002. Seed Vigor Testing of Subtropical Corn Hybrids. *Research Report*. 23 (2):1-5
- Skerman, P.J.; Cameron, D.G. y Riveros, F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. FAO. Roma. 707p.
- Smith, H. y Kendrick, R.E. 1976. The structure and properties of phytochrome. In: Chemistry and biochemistry of plants pigments. (T.W. Goodwin, Ed.). Academic Press. London, UK.
- Smith, M.; Wang, T.B.S.P. y Msanga, H. P. 2003. Dormancy and Germination. En: Tropical Tree Seed Manual. USDA Forest Service's/Reforestation Nurseries & Genetics Resources. p. 149
- Smith, M.T. y Berjak, P. 1995. Deteriorative changes associated with the loss viability of stored desiccation tolerant and desiccation-sensitive seeds. En: Seed development and germination (J. Kigel y G. Galili, Eds.). Marcel Dekker, Inc. New York. p. 701
- Soca, M.; Simón, L.; Cáceres, O. y Francisco, G. 1999. Valor nutritivo del heno de leguminosas arbóreas. I. *Albizia lebbbeck* (algarrobo de olor). *Pastos y Forrajes*. 22(4):353-358
- Sosa, A. y Molina, Y. 2007. Comportamiento de semillas de *Albizia lebbbeck* sometidas a tratamientos simuladores de sequía. Memorias II Congreso de Producción Animal. La Habana, Cuba. p. 265
- Sosef, M.S.M.; Hong, L.T. y Prawirohatmodjo, S. 1998. Timber trees: lesser-know timbers. Plant Resources of South-East Asia N°. 5 (3). Backhuys Publishers. Leiden, Netherlands
- Soto Pinto, M.L. 1996. Escarificación de semillas de leguminosas arbustivas *Cassia tormentosa* y *C. xiphoidea*. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 14:5-7
- Steiner, J.J. 1990. Seed physiology, production and technology. *Crop Sci*. 30:1264-1271
- Swofford, T.F. 1965. Official correspondence to of sandalwood in Hawaii. En: Proceedings of the symposium on sandalwood in the Pacific; 1990 April 9-11; Honolulu. (J. Burley and B.T. Styles, Eds.) Gen. Tech. Rep. PSW-122. Berkeley, CA: U.S. Department of reproductive biology of Meliaceae. Tropical trees: variation, breeding, and conservation. London, U.K.: Academic Press: 61-67.

- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. Fourth Edition. Sinaver Associates Inc. 705p.
- Tanaka, T. 1994. Assuring Seed Quality for Seedling Production: Cone Collection and Seed Processing, Testing, Storage, and Stratification. En: Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. (Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, Ed.). The Hague/Boston/Lancaster, Oregon State University. Corvallis. 386 p
- Taylor, A.G. 2003a. Seed Treatments. En: Encyclopedia of Applied Plant Sciences (B. Thomas, D.J. Murphy y B.G. Murray, Eds.). Elsevier Acad. Press. p. 1291
- Taylor, A.G. 2003b. Seed quality. En: Encyclopedia of Applied Plant Sciences (B. Thomas, D. J. Murphy y B. G. Murray, Eds.). Elsevier Acad. Press. p. 1284
- Teketay, D. 1996a. The effect of different pre-sowing treatments, temperature and light on the germination of five *Senna* species from Ethiopia. *New Forest*. 11:155
- Teketay D. 1996b. Germination ecology of twelve indigenous and eight exotic multipurpose leguminous species from Ethiopia. *Forest Ecology Management* 80: 209-223.
- TeKrony, D.M. 2003. Review: Precision is an essential component of seed vigour testing. *Seed Sci. Technol.* 31:435-447
- TeKrony, D.M. 2006. Seeds: The Delivery System for Crop Science. *Crop Sci.* 46:2263-2269
- TeKrony, D.M. y Egli, D.B. 1997. Accumulation of seed vigour during development and maturation. En: Basic and Applied Aspects of Seed Biology (R.H. Ellis, M. Black, A.J. Murdoch y T.D. Hong, Eds.). Klumer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. p.369
- Thapliyal, R.C. y Connor, K.F. 1997. Effects of accelerated aging on viability, leachate exudation, and fatty acid content of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Seed Sci. Technol.* 25:311
- Thomsen, K. y Stubsgaard, F. 1998. Easy guide to controlling seed moisture during seed procurement. Lecture Note C-5A. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark 24 p.
- Thomson, A.J. y El-Kassaby, Y.A. 1993. Interpretation of seed-germination parameters. *New Forest*. 7:123
- Tigabu, M. y Oden, P.C. 2001. Effect of scarification, gibberellic acid and temperature on seed germination of two multipurpose *Albizia* species from Ethiopia. *Seed Sci. Technol.* 29(1):11-20
- Timyan, J. 1996. Bwa yo. Important trees of Haiti. Southeast Consortium for International Development. Washington, DC. 418 p.
- Tobe, K.; Xiaoming, L. y Omasa, K. 2000. Seed Germination and Radicle Growth of a Halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Ann. Bot.* 85: 391-396
- Toky, O.P.; Kumar, N. y Bisht, R.P. 1996. Variation in growth of a 3 year old provenance trial of *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. in arid India. *Silvae Genetica*. 45:31

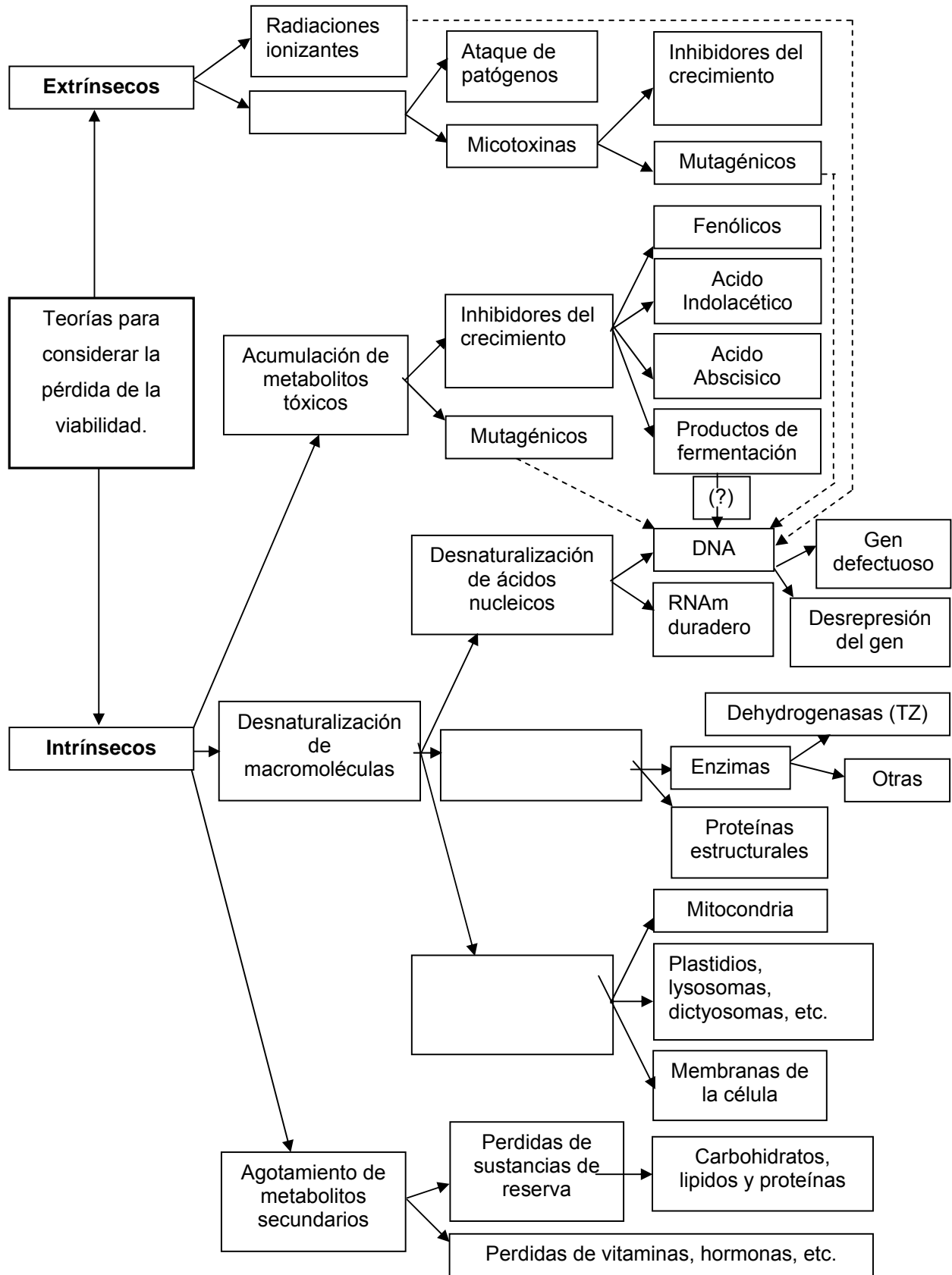


- Toral, O.; Iglesias, J.M. y Reino, J. 2006. Comportamiento del germoplasma arbóreo forrajero en condiciones de Cuba. Memorias IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción animal. Varadero, Cuba. p. 6
- Toral, O. y Machado, R. 2002. Introducción, evaluación y selección de recursos fitogenéticos arbóreos. *Pastos y Forrajes*. 25(1):1-14
- Torres, S.B. y Santos, D.S.B. 1994. Superação de dormência em sementes de *Acacia senegal* (L.) Willd. e *Parkinsonia aculeate* (L.). *Rev. Bras. Sem.* 16(1): 54-57
- Torres, V.; Benítez, D.; Lizazo, D. y Álvarez, A. 2007. Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. XI Conferencia Española de Biometría y I Encuentro Iberoamericano de Biometría. Universidad de Salamanca, España
- Trossero, M.; Griffa, P.; González, S.; Coronati, E. y Barberis, I. 2005. Emergencia, supervivencia y establecimiento de plántulas de *Gleditsia triacanthos* y *Bauhinia forficata* en claros y sotobosques del Parque Villarino, Zavalla, Santa Fe, Argentina. Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias, N° VII.
- Turner, R.; Merritt, D.J.; Baskin, C.C.; Dixon K.W. y Baskin, J.M. 2005. Physical dormancy in seeds of six genera of Australian Rhamnaceae. *Seed Sci. Res.* 15:51-58
- Valadez-Gutiérrez, J.; Mendoza-Onofre, L.; Córdova-Téllez, L.; Vaquera-Huerta, H.; Mendoza-Castillo, M.C. y García de los Santos, G. 2007. Tamaños de semilla, sustancias vigorizantes y pruebas de vigor en sorgos tolerantes al frío. *Agrociencia*. 16:169-179
- van Assche, J.A.; Debucquoy, K.L.A. y Rommens, W.A.F. 2003. Seasonal cycles in the germination capacity of buried seeds of some Leguminosae (Fabaceae). *New Phytologist* 158:315-323
- van de Venter, A. 2000. What is seed vigour?. *ISTA News Bulletin*. 121:13-17
- van Klinken, R.D. y Flack, L. 2005. The relationship between wet heat and hard-seeded dormancy and germination. *Weed Science*. 53:663-669
- van Klinken, R.D.; Flack, L.K. y Pettit, W. 2006. Wet-season Dormancy Release in Seed Banks of a Tropical Leguminous Shrub is Determined by Wet Heat. *Annals of Botany*. 98: 875-883
- Vázquez-Yanes, C. y Orozco-Segovia, A. 1984. Ecophysiology of seed germination in the tropical humid forest of the world: a review. En: Physiological ecology of plants of the wet tropics. (E. Medina, H. Mooney y C. Vázquez-Yanes, Eds.). Dr. W. Junk Publishers. The Hague, The Netherlands. p. 37
- Vázquez-Yanes, C y Orozco-Segovia, A. 1987. Fisiología ecológica de semillas en la estación de biología tropical "Los Tuxtlas", Veracruz, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 35:85-96

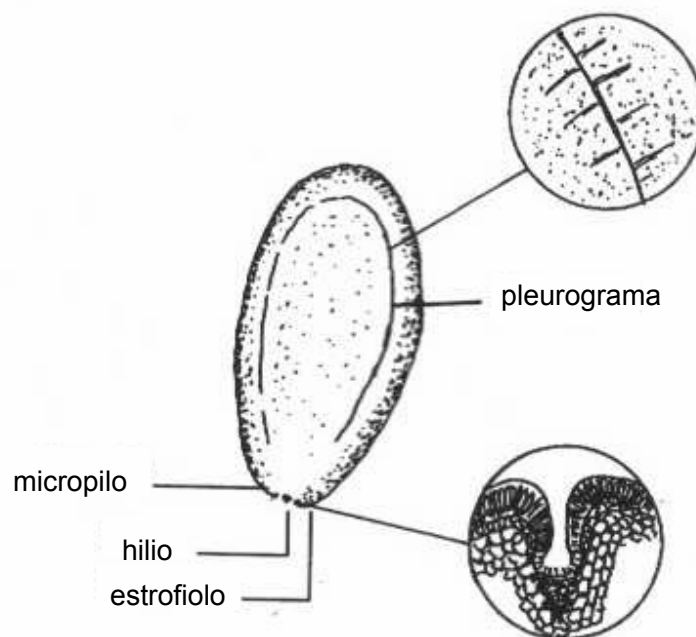
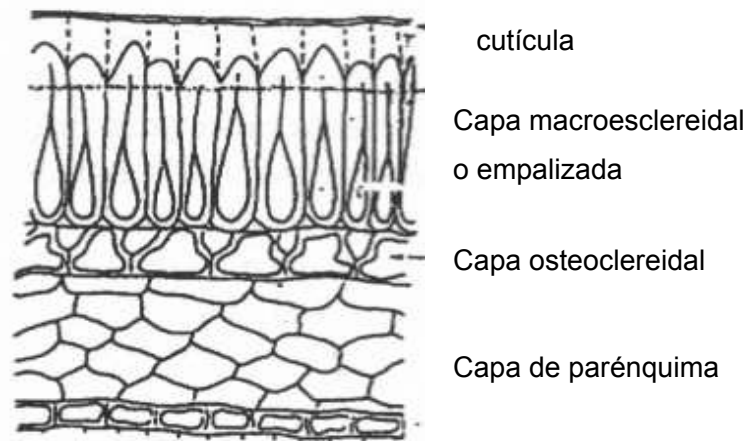
- Vázquez-Yanez, C. y Orozco-Segovia, A. 1996. Comparative longevity of seeds of five tropical rain forest woody species stored under different moisture conditions. *Can. J. Bot.* 74:1635-1639
- Vertucci, C.W.; Crane, J. y Vance, N.C. 1996. Physiological aspects of *Taxus brevifolia* seeds in relation to seed storage characteristics. *Physiologia Plantarum.* 98:1
- Vieira, M.G.G.C. 1996. Utilização de marcadores moleculares no monitoramento da qualidade sanitária e nível de deterioração de sementes de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). Lavras. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Lavras. 114p.
- Walters, C. 1998. Understanding the mechanisms and kinetics of seed aging. *Seed Sci. Res.* 8:223-244
- Walters, C. 2004. Temperature-dependency of molecular mobility in preserved seeds. *Biophysical Journal.* 86:1253-1258
- Wang, R. 2005. Modeling seed germination and seedling emergence in winterfat (*Krascheninnikovia lanata* (Pursh) A.D.J. Meeuse & Smit): physiological mechanisms and ecological relevance. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias. University of Saskatchewan, Saskatoon. 176 p.
- Wang, Y.R.; Yu, L. y Chen, J.H. 1992. The relationship between standard germination, vigor, moisture content and storability in alfalfa seed lots. *Pratacultural Science* 9(6):34-38
- Weibull, W. 1951. A statistical distribution functions of wide applicability, *J. Appl. Mech.* 18:293-297
- Welbaum, G.E.; Bradford, K.J.; Yim, Kyu-Ock; Booth, D.T. y Oluoch, M. O. 1998. Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Sci. Res.* 8:161-172
- Wellington, P.S. 1988. Handbook for seedling evaluation. National Institute of Agricultural Botany. England, UK. 150 p.
- Wild, D.W.M.; Wilson, J.R.; Stür, W.W. y Shelton, H.M. 1993. Shading increases yield of nitrogen-limited tropical grasses. Proceedings of XVII International Grassland Congress. Palmerston North-New Zealand
- Willan, R.L. 2000. Pre-tratamiento de semillas. En: Técnicas para la germinación de semillas forestales. Serie Técnica. Manual Técnico N° 39. CATIE-PROSEFOR-DFSC. Turrialba, Costa Rica
- Wolf, H. y Kamondo, B. 1993. Seed pre-sowing treatment. En: Tree seed handbook of Kenya. (Albrecht, J., Ed.) Kenya Forestry Research Institute/Gesellschaft für Technische Zusammenarbeir. Nairobi, Kenya. p. 55

- Yang, J.; Lovett-Doust, J. y Lovett-Doust, L. 1999. Seed germination patterns in green dragon (*Arisaema dracontium*, Araceae). *Amer. J. Bot.* 86:1160-1167
- Yañez, S. y Funes, F. 1989. Manual práctico para la producción de semillas de pastos en Cuba. IIPF. La Habana, Cuba. 134 p.
- Yu, S.L. y Wang, B.S.P. 1996. Tetrazolium testing for viability of tree seed. En: Rapid viability testing of tropical tree seed. (J. Bhodthipuks, Ed.). Training Course Proceedings N° 4. ASEAN Forest Tree Seed Centre Project. Muak Lek, Thailand. p. 33

Anexo 1. Factores relacionados con el envejecimiento de la semilla (adaptado de Hilhorst y Bradford 2000)



**Anexo 2.** Disposición de las estructuras celulares que componen la corteza seminal de la familia *Leguminosae* (tomado de Schmidt 2000)



**Anexo 3. Matriz de correlación para cada tratamiento pre-siembra**

**ACIDO**

	IE (días)	Emerg. (%)	DP (días)	EP (%)	VG	Ener (%/días)	TE (%/días)
<b>IE (días)</b>	1,00	0,23	0,96	0,28	-0,20	-0,08	0,23
<b>Emerg. (%)</b>	0,23	1,00	0,36	0,93	0,70	0,85	1,00
<b>DP (días)</b>	0,96	0,36	1,00	0,40	-0,12	0,07	0,36
<b>EP (días)</b>	0,28	0,93	0,40	1,00	0,52	0,82	0,93
<b>VG</b>	-0,20	0,70	-0,12	0,52	1,00	0,82	0,70
<b>Ener (%/días)</b>	-0,08	0,85	0,07	0,82	0,82	1,00	0,85
<b>TE (%/días)</b>	0,23	1,00	0,36	0,93	0,70	0,85	1,00

**AGUA**

	IE (días)	Emerg. (%)	DP (días)	EP (%)	VG	Ener (%/días)	TE (%/días)
<b>IE (días)</b>	1,00	0,62	0,96	0,64	0,48	0,60	0,62
<b>Emerg. (%)</b>	0,62	1,00	0,70	0,98	0,58	0,53	1,00
<b>DP (días)</b>	0,96	0,70	1,00	0,69	0,68	0,77	0,70
<b>EP (días)</b>	0,64	0,98	0,69	1,00	0,45	0,43	0,98
<b>VG</b>	0,48	0,58	0,68	0,45	1,00	0,97	0,57
<b>Ener (%/días)</b>	0,60	0,53	0,77	0,43	0,97	1,00	0,53
<b>TE (%/días)</b>	0,62	1,00	0,70	0,98	0,57	0,53	1,00

**REMOJO**

	IE (días)	Emerg. (%)	DP (días)	EP (%)	VG	Ener (%/días)	TE (%/días)
<b>IE (días)</b>	1,00	0,05	0,52	0,14	-0,44	-0,70	0,05
<b>Emerg. (%)</b>	0,05	1,00	0,44	0,74	0,73	0,38	1,00
<b>DP (días)</b>	0,52	0,44	1,00	0,29	-0,05	-0,49	0,44
<b>EP (días)</b>	0,14	0,74	0,29	1,00	0,53	0,41	0,74
<b>VG</b>	-0,44	0,73	-0,05	0,53	1,00	0,82	0,73
<b>Ener (%/días)</b>	-0,70	0,38	-0,49	0,41	0,82	1,00	0,38
<b>TE (%/días)</b>	0,05	1,00	0,44	0,74	0,73	0,38	1,00

**PINCHAZO**

	IE (días)	Emerg. (%)	DP (días)	EP (%)	VG	Ener (%/días)	TE (%/días)
IE (días)	1,00	-0,02	0,94	-0,13	-0,15	-0,19	-0,02
Emerg. (%)	-0,02	1,00	0,11	0,91	0,93	0,95	1,00
DP (días)	0,94	0,11	1,00	-0,10	-0,10	-0,11	0,11
EP (días)	-0,13	0,91	-0,10	1,00	0,98	0,98	0,91
VG	-0,15	0,93	-0,10	0,98	1,00	0,99	0,93
Ener (%/días)	-0,19	0,95	-0,11	0,98	0,99	1,00	0,95
TE (%/días)	-0,02	1,00	0,11	0,91	0,93	0,95	1,00

**CORTE DE CUBIERTA**

	IE (días)	Emerg. (%)	DP (días)	EP (%)	VG	Ener (%/días)	TE (%/días)
IE (días)	1,00	-0,13	0,95	-0,24	-0,35	-0,39	-0,13
Emerg. (%)	-0,13	1,00	-0,07	0,85	0,90	0,87	1,00
DP (días)	0,95	-0,07	1,00	-0,32	-0,34	-0,42	-0,07
EP (días)	-0,24	0,85	-0,32	1,00	0,89	0,94	0,85
VG	-0,35	0,90	-0,34	0,89	1,00	0,98	0,90
Ener (%/días)	-0,39	0,87	-0,42	0,94	0,98	1,00	0,87
TE (%/días)	-0,13	1,00	-0,07	0,85	0,90	0,87	1,00

**CONTROL**

	IE (días)	Emerg. (%)	DP (días)	EP (%)	VG	Ener (%/días)	TE (%/días)
IE (días)	1,00	-0,37	0,73	-0,31	-0,37	-0,45	-0,37
Emerg. (%)	-0,37	1,00	0,13	0,87	0,98	0,94	1,00
DP (días)	0,73	0,13	1,00	-0,06	0,10	-0,11	0,13
EP (días)	-0,31	0,87	-0,06	1,00	0,82	0,94	0,87
VG	-0,37	0,98	0,10	0,82	1,00	0,93	0,98
Ener (%/días)	-0,45	0,94	-0,11	0,94	0,93	1,00	0,94
TE (%/días)	-0,37	1,00	0,13	0,87	0,98	0,94	1,00

**Anexo 4.** Variables seleccionadas por el análisis de componentes principales

<b>Método presembrado</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
Ácido	Emergencia	Inicio de emergencia Día pico
	Energía de germinación	
	Tasa de emergencia	
Agua	Emergencia	Energía de germinación Valor de germinación
	Emergencia pico	
	Tasa de emergencia	
Remojo	Emergencia	Inicio de emergencia
	Tasa de emergencia	
Pinchazo	Emergencia	Inicio de emergencia Día pico
	Emergencia pico	
	Valor de germinación	
	Energía de germinación	
Corte	Tasa de emergencia	Inicio de emergencia Día pico
	Emergencia	
	Emergencia pico	
	Valor de germinación	
Control	Energía de germinación	Inicio de emergencia Día pico
	Tasa de emergencia	
	Emergencia	
	Emergencia pico	
Control	Valor de germinación	Inicio de emergencia Día pico
	Energía de germinación	
	Tasa de emergencia	
	Emergencia	



**Anexo 5.** Promedio de las variables de los grupos formados para el vigor de las semillas durante la emergencia de plántulas

Grupos	IE(días)	Emer (%)	DP (días)	EP (%)	VG	Ener (%/días)	TE (%/días)
Ácido							
I	5,93	31,40	6,63	15,80	3,32	3,44	1,50
II	2,33	6,44	2,67	3,78	1,29	1,37	0,31
III	5,63	2,83	5,63	2,00	0,11	0,33	0,13
IV	3,33	44,00	3,83	14,67	19,95	6,54	2,095
Agua							
I	8,25	18,83	11,25	6,67	2,20	1,24	0,90
II	3,27	2,00	3,57	1,10	0,15	0,20	0,10
III	7,00	29,33	7,67	13,00	0,02	0,02	1,40
Remojo							
I	6,43	14,15	7,91	5,37	1,84	1,36	0,67
II	5,83	25,67	11,33	14,00	3,97	2,24	1,22
III	3,00	31,00	4,33	10,00	7,65	4,05	1,476
IV	2,33	0,33	2,33	0,33	2,73	2,69	0,016
Pinchazo							
I	7,67	24,78	8,58	9,56	5,61	2,20	1,18
II	1,67	9,33	1,67	8,67	3,79	1,73	0,44
III	4,67	63,00	5,00	37,00	32,07	8,34	3,00
IV	5,00	8,20	5,67	3,87	1,01	1,03	0,39
Corte							
I	6,62	34,05	7,69	14,71	9,09	3,29	1,62
II	5,00	59,67	5,00	56,33	33,86	11,27	2,841
III	3,00	87,67	3,00	67,67	82,89	22,75	4,175
IV	4,17	27,22	4,50	16,22	6,11	4,20	1,30
V	2,33	6,67	2,33	3,33	1,35	1,56	0,317
Control							
I	5,06	7,22	6,06	2,89	0,69	0,67	0,34
II	6,42	32,54	9,13	11,92	7,29	2,61	1,55
III	4,67	33,50	5,75	14,67	7,62	3,56	1,60
IV	8,42	6,38	9,25	3,25	0,53	0,53	0,30

**Anexo 6.** Matriz de correlación para cada tratamiento pre-siembra. Crecimiento**ACIDO**

	altura (cm)	larg sist rad (cm)	largo hip (cm)	peso sist rad (g)	peso aéreo(g)
Altura (cm)	1,000	0,918	0,873	0,488	0,49
Larg sist rad (cm)	0,918	1,000	0,812	0,402	0,26
Largo hip (cm)	0,873	0,812	1,000	0,599	0,32
Peso sist rad (g)	0,488	0,402	0,599	1,000	0,30
Peso aéreo(g)	0,489	0,259	0,319	0,297	1,00

**AGUA**

	altura (cm)	larg sist rad (cm)	largo hip (cm)	peso sist rad (g)	peso aéreo(g)
Altura (cm)	1,000	0,972	0,948	0,551	0,781
Larg sist rad (cm)	0,972	1,000	0,918	0,597	0,657
Largo hip (cm)	0,948	0,918	1,000	0,694	0,648
Peso sist rad (g)	0,551	0,597	0,694	1,000	0,177
Peso aéreo(g)	0,781	0,657	0,648	0,177	1,000

**REMOJO**

	altura (cm)	larg sist rad (cm)	largo hip (cm)	peso sist rad (g)	peso aéreo(g)
Altura (cm)	1,000	0,858	0,765	0,265	0,583
Larg sist rad (cm)	0,858	1,000	0,700	0,304	0,436
Largo hip (cm)	0,765	0,700	1,000	0,484	0,244
Peso sist rad (g)	0,265	0,304	0,484	1,000	-0,036
Peso aéreo(g)	0,582	0,436	0,244	-0,036	1,000

**PINCHAZO**

	<b>altura (cm)</b>	<b>larg sist rad (cm)</b>	<b>largo hip (cm)</b>	<b>peso sist rad (g)</b>	<b>peso aéreo(g)</b>
Altura (cm)	1,000	0,894	0,813	0,070	0,537
Larg sist rad (cm)	0,894	1,000	0,759	0,212	0,560
Largo hip (cm)	0,813	0,759	1,000	0,339	0,584
Peso sist rad (g)	0,070	0,212	0,339	1,000	-0,100
Peso aéreo(g)	0,537	0,560	0,585	-0,101	1,000

**CORTE DE CUBIERTA**

	<b>altura (cm)</b>	<b>larg sist rad (cm)</b>	<b>largo hip (cm)</b>	<b>peso sist rad (g)</b>	<b>peso aéreo(g)</b>
Altura (cm)	1,000	0,816	0,745	0,474	0,665
Larg sist rad (cm)	0,816	1,000	0,624	0,220	0,507
Largo hip (cm)	0,745	0,624	1,000	0,552	0,401
Peso sist rad (g)	0,474	0,220	0,552	1,000	0,471
Peso aéreo(g)	0,665	0,507	0,401	0,471	1,000

**CONTROL**

	<b>altura (cm)</b>	<b>larg sist rad (cm)</b>	<b>largo hip (cm)</b>	<b>peso sist rad (g)</b>	<b>peso aéreo(g)</b>
Altura (cm)	1,000	0,745	0,827	-0,012	0,444
Larg sist rad (cm)	0,745	1,000	0,685	0,200	0,468
Largo hip (cm)	0,827	0,685	1,000	0,391	0,4322
Peso sist rad (g)	-0,012	0,200	0,391	1,000	0,006
Peso aéreo(g)	0,444	0,468	0,432	0,006	1,000

**Anexo 7.** Variables seleccionadas por el análisis de componentes principales

<b>Método presembrado</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
Ácido	Altura	
	Largo sistema radicular	Peso parte aérea
	Largo hipocótilo	
Agua	Altura	
	Peso parte aérea	Peso sistema radicular
Remojo	Altura	Peso sistema radicular
Pinchazo	Altura	
	Largo sistema radicular	Peso sistema radicular
	Largo hipocótilo	
Corte	Altura	
	Largo sistema radicular	Peso sistema radicular
Control	Altura	
	Largo sistema radicular	Peso sistema radicular

**Anexo 8.** Promedio y desviaciones de los grupos formados para el vigor de las semillas

Grupo	Alt		Lsr		Lh		Psr		Ppa	
	x	DS	x	DS	x	DS	x	DS	x	DS
Acido										
I	5,93	0,92	31,40	3.31	6,63	0,92	15,80	3,35	3,32	1,77
II	2,33	0.29	6,44	5.39	2,67	0.29	3,78	2.78	1,29	1.21
III	5,63	1.62	2,83	0.33	5,63	1.62	2,00	0.38	0,11	0.01
IV	3,33	-	44,00	-	3,83	-	14,67	-	19,95	-
Agua										
I	8,25	2.00	18,83	3.06	11,25	1.06	6,67	1.41	2,20	0.80
II	3,27	3.34	2,00	2.82	3,57	3.66	1,10	1.27	0,15	0.29
III	7,00	-	29,33	-	7,67	-	13,00	-	0,02	-
Remojo										
I	6,43	2.36	14,15	8.25	7,91	2.83	5,37	4.24	1,84	0.76
II	5,83	0.35	25,67	4.01	11,33	1.06	14,00	0.94	3,97	0.55
III	2,33	-	0,33	-	2,33	-	0,33	-	2,73	-
IV	3,00	-	31,00	-	4,33	-	10,00	-	7,65	-
Pinchazo										
I	7,67	2.47	24,78	20.51	8,58	1.30	9,56	4.95	5,61	5.34
II	4,67	-	63,00	-	5,00	-	37,00	-	32,07	-
III	1,67	-	9,33	-	1,67	-	8,67	-	3,79	-
IV	5,00	0.94	8,20	1.89	5,67	0.47	3,87	0.47	1,01	0.24
Corte										
I	6,62	0.71	34,05	1.65	7,69	1.18	14,71	1.89	9,09	0.12
II	5,00	-	59,67	-	5,00	-	56,33	-	33,86	-
III	3,00	-	87,67	-	3,00	-	67,67	-	82,89	-
IV	4,17	0.35	27,22	10.61	4,50	0.24	16,22	9.19	6,11	1.64
Control										
I	6,42	0.47	32,54	9.07	9,13	1.30	11,92	1.65	7,29	2.11
II	5,06	0.35	7,22	5.42	6,06	0.47	2,89	0.24	0,69	0.45
III	4,67	0.47	33,50	7.31	5,75	1.06	14,67	1.89	7,62	3.01