



Propagación del burío (*Heliotropis appendiculatus* Turcz.)
por semillas, estacas y acodos

ANA MARÍA GUTIÉRREZ URIBE



Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE
Programa para el Desarrollo y la Conservación
Escuela de Posgrado

Propagación del burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.)
por semillas, estacas y acodos

Tesis sometida a consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de
Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza, para optar al grado de:

Magister Scientiae

por

Ana María Gutiérrez Uribe

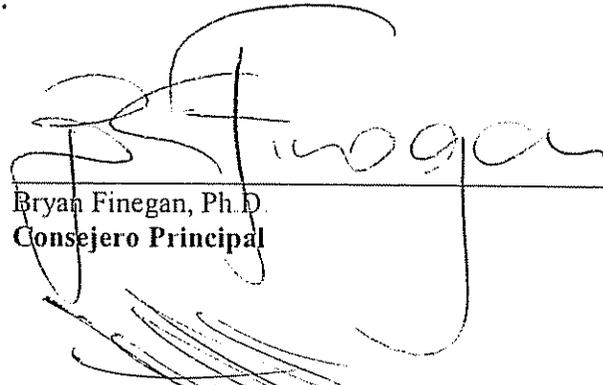
Turrialba, Costa Rica

2003

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

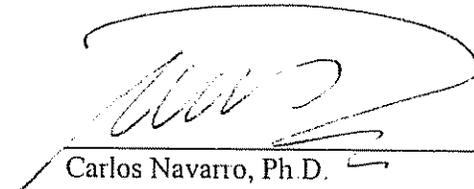
MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Bryan Finegan, Ph.D.
Consejero Principal

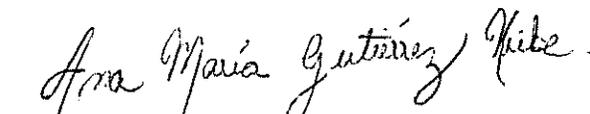
Róger Villalobos, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Carlos Navarro, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Ana María Gutiérrez Uribe
Candidata

Dedicatorias

Para la gloria de Dios

A mis padres, Eduardo y Esther.

A mis sobrinos, Federico y Carlos Eduardo.

A mi tío Octavio.

Agradecimientos

Al CATIE y a la ITTO por haberme dado la oportunidad de continuar mi formación profesional y personal en un país maravilloso, donde los seres humanos son más importantes que las estructuras.

A las empresas As-Sukkar e Ingenio Juan Viñas, por ser mis benefactores durante la realización de esta investigación. Muy especialmente al Ingeniero Felipe Ortuño por el interés mostrado en la idea preliminar, los aportes para concretar una propuesta, la promoción del proyecto y la iniciación de un uso sostenible de esta especie, aun sin conocer los resultados finales de este trabajo.

Al profesor Francisco Mesén por su paciencia para soportarme, sus aportes en la conducción de este trabajo, por brindarme el apoyo de todos sus colaboradores y por darme la libertad para actuar. Lástima que no pudo acompañarme para culminar este esfuerzo ni supe aprovechar la oportunidad de aprender más con una autoridad en el tema.

A los profesores Róger Villalobos y Bryan Finegan por interesarse en la propuesta inicial, por permitirme comprender el doloroso proceso de plantear y ejecutar una investigación; por confiar en mí. A Carlos Navarro por apoyarme en momentos difíciles. Al profesor Manuel Guariguata por haberme ayudado a dimensionar el problema y lo que podría aportar a su solución.

A todo el personal del Banco de Semillas Forestales del CATIE en cabeza de William Vásquez. En especial a Alfonso González y a Mayreline, su esposa, a quienes tanto importuné fuera del tiempo de trabajo por mi inexperiencia y los imprevistos sufridos. Gracias a Mario Álvarez por sus acertados consejos y su calidad humana. A María Amable Rodríguez, por hacerle honor a su nombre. A Gerardo Barquero por su ayuda invaluable en la recolección de las semillas. A Don Alexis Ramírez por estar atento a hacerme cómodo y agradable mi trabajo, por su generosidad y las lecciones que he recibido. Desde ya los extraño.

Al personal de la Unidad de Plantaciones. A Marvin Hernández por simplificar mis labores y su guía constante. A Víctor Alvarado por su disposición de servicio, aun en situaciones de riesgo. A Don Carlos Castro, porque con su guía me dio la oportunidad de aprender haciendo. A Luis Sánchez por compartir generosamente conmigo sus experiencias en el tema. A Luis Quirós, por su espíritu de compromiso y sus ocurrencias en medio de las labores. A Javier Ramírez por su genuino interés en prestarme su ayuda en cualquier momento. Mil y mil gracias.

A la Unidad de Estadística del CATIE, en especial al Dr. Gilberto Páez por vigilar que los procesos fueran correctos y a Gustavo López por ayudarme a interpretar los resultados.

A todo el personal de la Biblioteca Orton, especialmente a Javier Brenes C. y Liseth Brenes B. por su eficaz y eficiente ayuda, su orientación y calor humano durante todo este tiempo.

A Don Juan Ramón Umaña y Doña Aracelli, porque además del entusiasmo mostrado para servirme de guía, me acogieron en su familia como una hija más.

A María Luisa Arrieta, Don Pedro Solís, Ligia Steward y Juana García por permitirme cosechar las semillas de los árboles de burío en sus propiedades.

A Gloria Amparo Guzmán por multiplicar mi tiempo por su apoyo logístico; a su hija Jessica por su colaboración sin previo aviso, aunque a veces me haya hecho repetir algunas unidades de muestreo. A Adriana Solera, por su colaboración ocasional en el montaje de ensayos.

A Federico Fernández, Carola Scholtz y Frank López por sus valiosas observaciones que contribuyeron al planteamiento de este trabajo.

A Flavia y a Miguel por su paciencia, bondad y generosidad infinitas y por hacerme comprender que cuando se comparten las alegrías se multiplican y las penas se dividen.

A Rodrigo por su voz de aliento constantes.

A Don José Palacio, quien me enseñó que soy yo quien siembra, pero es Dios quien da el crecimiento.

Entonces apareció un zorro.

¡Buenos días! - dijo el zorro.

¡Buenos días! - respondió el principito, que volteó pero no vio nada.

¡Estoy aquí! -dijo la voz-; bajo el manzano.

¿Quién eres tú? -estableció el principito- Eres muy bonito...

Soy un zorro- contestó el zorro.

Ven a jugar conmigo -le dijo el principito-. Estoy tan triste.

No puedo jugar contigo -dijo el zorro-. No estoy domesticado.

¡Ah! Perdón -exclamó el principito-. ¿Qué significa domesticar? (...)

Domesticar significa "crear lazos" -refirió el zorro. (...)

¿Crear lazos?

Sí -dijo el zorro-. Tú todavía no eres para mí más que un niño parecido a cien mil niños. Y yo no tengo necesidad de ti. Y tú tampoco tienes necesidad de mí. Para ti yo soy sólo un zorro parecido a cien mil zorros. Pero si tú me domesticas, entonces serás para mí y yo seré para ti, único en el mundo. Tendremos necesidad uno del otro.

Ya empiezo a entender -asistió el principito- Mi flor... Creo que me ha domesticado (...)

¡Si quieres, domesticáame!

Sí quiero -dijo el principito-, pero no tengo tiempo. Tengo amigos que encontrar y cosas por conocer.

No se conocen más que las cosas que se domestican- abundó el zorro

¿Qué es lo que hay que hacer? -dijo el principito.

Se necesita ser paciente -dijo el zorro-. (...)

Al día siguiente volvió el principito.

Hubiera sido mejor que regresaras a la misma hora -le comentó el zorro; (...) Hacen falta los ritos. (...)

Así el principito domesticó al zorro. Y cuando se acercó la hora de partir.

¡Ah! -dijo el zorro-; ...lloraré.

Es tu culpa -dijo el principito-; yo no te deseaba ningún mal, pero tú has querido que te domestique... (...)

Adiós -le dijo el principito.

Adiós -le dijo el zorro-. Aquí tienes mi secreto. Es muy sencillo. Sólo se ve con el corazón.

Lo esencial es invisible para los ojos. El principito repitió esta frase para recordarlo siempre.

El tiempo que has perdido con tu rosa es lo que hace que tu rosa sea tan importante.

El principito repitió esta frase para recordarlo siempre.

Los hombres han olvidado esta verdad -abundó el zorro-, pero tú no debes olvidarla. Te haces responsable para siempre de lo que has domesticado. Eres responsable de tu rosa.

Soy responsable de mi rosa... -repitió el principito para recordarlo siempre.

El Principito. -Antoine de Saint-Exupéry.

Tabla de Contenido

Resumen	xii
Summary	xii
1. Introducción	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Hipótesis de trabajo	2
2. Revisión de literatura	3
2.1 El burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.)	3
2.1.1 Distribución	4
2.1.2 Fenología	4
2.1.3 Aprovechamiento	5
2.2 Proceso de clarificación del dulce	6
2.3 Domesticación	9
2.4 Estrategias de propagación y el burío	10
2.4.1 Propagación por semillas	10
2.4.2 Propagación por estacas	16
2.4.3 Acodos aéreos	25
3. Materiales y métodos	27
3.1. La zona de estudio	27
3.2 Propagación por semilla	29
3.2.1 Selección del mejor tratamiento pre-germinativo	30
3.2.2 Germinación de semillas de burío en el vivero, provenientes de cuatro fuentes identificadas	32
3.2.3 Germinación de semillas de burío en el laboratorio, provenientes de cuatro fuentes identificadas	34
3.2.4 Efecto de la desecación y almacenamiento de frutos en la germinación de semillas de burío	37
3.2.5 Cosecha de frutos por árbol	41
3.3 Propagación por estacas	41
3.3.1 Efecto de cuatro dosis de AIB y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío	43
3.3.2 Efecto de las formas de aplicación del AIB en dos sustratos	45
3.3.3 Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y luz sobre la sobrevivencia, enraizamiento y número de raíces de estacas de burío	46

3.3.4 Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.)	47
3.4 Propagación por acodos: efecto de tres sustratos sobre el enraizamiento de acodos aéreos de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.)	49
4. Resultados y discusión	50
4.1 Propagación por semilla	50
4.1.1 Selección del mejor tratamiento pre-germinativo	50
4.1.2 Ensayo de germinación en el vivero de semillas de burío extraídas y sin extraer, provenientes de cuatro fuentes identificadas	52
4.1.3 Ensayo de germinación en el laboratorio de semillas de burío extraídas y sin extraer, provenientes de cuatro fuentes identificadas	57
4.1.4 Ensayo de almacenamiento y desecación de frutos de burío (<i>H. appendiculatus</i>)	60
4.1.5 Cosecha por árbol	67
4.2 Propagación por estacas	67
4.2.1 Efecto de cuatro dosis de AIB y cuatro sustratos sobre el enraizamiento y la sobrevivencia de estacas de burío (<i>H. appendiculatus</i>)	67
4.2.2 Efecto de formas de aplicación de AIB en dos sustratos sobre la sobrevivencia y el porcentaje de enraizamiento de estacas de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.)	68
4.2.3 Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz sobre la sobrevivencia, el enraizamiento y el número de raíces de estacas de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.)	70
4.2.4 Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.)	75
4.3 Propagación por acodos: Efecto de tres sustratos en la emisión de raíces adventicias en acodos aéreos	78
4.3.1 Sobrevivencia	79
4.3.2 Enraizamiento	79
4.3.3 Número de raíces	79
4.4 Selección del mejor sistema de propagación	80
5. Conclusiones	81
5.1 Propagación por semilla	81
5.2 Propagación por estacas y acodos	82
6. Recomendaciones	83
6.1 Consideraciones con el burío	83
6.2 Consideraciones metodológicas	84
Bibliografía	85

Lista de Cuadros

Cuadro 1.	Costos total y costo unitario de clarificación del dulce en la empresa As-Sukkar S.A. (Tayutic, Turrialba) en colones y en dólares (agosto de 2001)	9
Cuadro 2.	Localización de las fuentes semilleras de <i>H. appendiculatus</i> y estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios .	27
Cuadro 3.	Registro de los datos fenológicos: escala de Fournier (1974).	28
Cuadro 4.	Estado fenológicos de los árboles de burío al momento de la cosecha del lote 1. La Puente, Santiago de Paraiso, Cartago, noviembre 19 de 2001.	30
Cuadro 5.	Observaciones fenológicas en los árboles al momento de la cosecha de frutos, según la metodología de Fournier (1974)	33
Cuadro 6.	Condiciones ambientales reguladas para el ensayo de germinación de fuentes de semillas, materiales y sustratos.	35
Cuadro 7.	Ensayo de desecación y almacenamiento de frutos de burío. Condiciones controladas de las cámaras de almacenamiento de frutos de burío y condiciones registradas dentro de la caja de almacenamiento a la temperatura ambiente. CATIE, 2002.	39
Cuadro 8.	Índices de vigor el día 17 de los diferentes tratamientos pregerminativos aplicados al burío y resultados de la prueba de comparación de promedios de Tukey. CATIE, Turrialba, 2002.	52
Cuadro 9.	Condiciones ambientales del área de propagación bajo techo en el vivero forestal del CATIE durante el ensayo de propagación por semillas de cuatro fuentes identificadas.	53
Cuadro 10.	índices de vigor para semillas y el tratamiento control de cuatro fuentes identificadas en condiciones del vivero Forestal del CATIE.	56
Cuadro 11.	Resumen de los mejores promedios del ensayo de germinación de semillas de burío (<i>H. appendiculatus</i>) en el Laboratorio (CATIE, 2002), provenientes de cuatro fuentes identificadas.	58
Cuadro 12.	Frecuencia de los mejores promedios de porcentajes de germinación de <i>H. appendiculatus</i> en las cámaras con luz y temperatura controladas. CATIE, Turrialba, 2002.	59
Cuadro 13.	Contenido de humedad de frutos de burío antes y después del almacenamiento.	61
Cuadro 14.	Resultados de germinación, velocidad de germinación y vigor de semillas de burío, antes del almacenamiento. CATIE, 2002.	63
Cuadro 15.	Ensayo de desecación y almacenamiento de <i>Heliocarpus appendiculatus</i> . Resultados de porcentajes de germinación e índices de vigor \pm D.E. a los 3 y 6 meses de almacenamiento. CATIE, 2002.	66
Cuadro 16.	Ensayo de propagación de estacas de burío en cuatro sustratos y cuatro concentraciones de AIB. Condiciones ambientales de los propagadores de sub-irrigación los días 1 al 14 del ensayo, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal, CATIE, 2002.	68
Cuadro 17.	Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Condiciones ambientales de los propagadores de sub-irrigación, días 1 a 30 del ensayo, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal CATIE, 2002.	69
Cuadro 18.	Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Número y porcentaje de estacas vivas de burío (<i>H. appendiculatus</i>) por tratamiento, 35 días después de la siembra. Vivero forestal CATIE, 2002.	69
Cuadro 19.	Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Datos combinados de número de estacas de burío (<i>H. appendiculatus</i>), vivas y muertas, en dos sustratos. Vivero forestal CATIE, 2002.	70
Cuadro 20.	Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Número y porcentaje de estacas enraizadas de burío en los tratamientos combinados. Vivero forestal CATIE, 2002.	70
Cuadro 21.	Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz sobre la sobrevivencia, el enraizamiento y el número de raíces de estacas de burío: condiciones	

	ambientales de los propagadores de sub-irrigación los días 7 al 23 del ensayo, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal CATIE, 2002.	71
Cuadro 22.	Efecto de la longitud de la estaca y exposición a luz sobre el enraizamiento de estacas de burío (<i>H. appendiculatus</i>) de diferentes longitudes, sin diferencias estadísticas entre ellos. Vivero forestal CATIE, 2002.	73
Cuadro 23.	Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío: condiciones promedias de los propagadores de sub-irrigación los días 5 al 12 del ensayo de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal CATIE, 2002.	76
Cuadro 24.	Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos en el enraizamiento de estacas de burío (<i>H. appendiculatus</i>). CATIE, Turrialba, 2002.	77

Lista de Figuras

Figura 1.	(a) <i>Heliocarpus appendiculatus</i> . hoja, cima, botón floral, flor hermafrodita y fruto. Lay. KK (1949) (b) Regeneración del <i>H. popayanensis</i> . Díaz y Ríos (1993).....	3
Figura 2.	Distribución del burío (<i>H. appendiculatus</i>) en Costa Rica.....	4
Figura 3.	Diagrama del proceso de elaboración del dulce o panela.....	6
Figura 4.	Mapa con la ubicación de las fuentes semilleras identificadas y estaciones meteorológicas cercanas.....	28
Figura 5.	Diagrama de flujo de los experimentos realizados con semillas de burío (<i>H. appendiculatus</i>). Turrialba, CATIE, 2002.....	29
Figura 6.	Criterio de madurez de los frutos de <i>H. appendiculatus</i> utilizado para su recolección.....	32
Figura 7.	Diagrama de flujo de los experimentos realizados con estacas y acodos de burío (<i>H. appendiculatus</i>). Turrialba, CATIE, 2002.....	42
Figura 8.	Selección del mejor tratamiento pregerminativo aplicado al burío (<i>H. appendiculatus</i>). (a) Porcentaje de germinación acumulado (b) velocidad de germinación.....	51
Figura 9.	Germinación acumulada de cuatro fuentes identificadas de <i>H. appendiculatus</i> en el vivero forestal de Cabiria; a) semillas y b) control. (N = 12). CATIE, 2002.....	54
Figura 10.	Velocidad de germinación de <i>H. appendiculatus</i> en el vivero forestal de Cabiria; a) semillas y b) control. (N = 12). CATIE, 2002.....	55
Figura 11.	Almacenamiento y desecación de frutos de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i>). Comportamiento promedio del contenido de humedad después de seis meses de almacenamiento en las cámaras de -17° C, 5° C, 15° C y a temperatura ambiente. Turrialba, CATIE, 2002.....	61
Figura 12.	Almacenamiento y desecación de frutos de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i>). Comportamiento promedio del contenido de humedad (CH) de los frutos a los tres y seis meses de almacenamiento en las cámaras de -17° C, 5° C, 15° C y a temperatura ambiente. Turrialba, CATIE, 2002.....	62
Figura 13.	Comportamiento de la germinación de semillas de burío (<i>H. appendiculatus</i>) dependiendo de la temperatura y el periodo de almacenamiento de los frutos. Interacciones significativas al 95% de confianza.....	64
Figura 14.	Comportamiento de la germinación de semillas de burío (<i>H. appendiculatus</i>) dependiendo del contenido de humedad y el periodo de almacenamiento de los frutos. Interacciones altamente significativas con un 95% de confianza.....	65
Figura 15.	Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz dentro de propagadores de sub-irrigación: Sobrevivencia de estacas de burío (<i>H. appendiculatus</i>), en función de la longitud de la estaca. Turrialba, CATIE, 2002.....	72
Figura 16.	Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz: % de enraizamiento de estacas de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.) obtenidas en propagadores de sub-irrigación. CATIE, 2002.....	73
Figura 17.	Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz: Número de raíces de las estacas de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.) obtenidas en los propagadores de sub-irrigación. Turrialba, CATIE, 2002.....	74
Figura 18.	Sobrevivencia de estacas de burío en cuatro sustratos. Turrialba, CATIE, 2002.....	76
Figura 19.	Número de raíces en estacas de burío (<i>H. appendiculatus</i>) enraizadas en diferentes sustratos. Turrialba, CATIE, 2002.....	78
Figura 20.	Porcentaje de enraizamiento de acodos de burío (<i>H. appendiculatus</i>) en tres sustratos. CATIE, Turrialba, 2002.....	79

Lista de Anexos

Anexo 1.	Glosario de términos	90
Anexo 2.	Diseño del Propagador de sub-irrigación mejorado por el Instituto de Ecología Terrestre (ITE), Escocia.....	93
Anexo 3.	Efecto de 10 tratamientos pregerminativos aplicados a frutos sobre el porcentaje de germinación del burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i>).....	94
Anexo 4	Ensayo de germinación de semillas extraídas de <i>H. appendiculatus</i> y un control: ensayos de vivero y laboratorio	95
Anexo 5.	Efecto de la desecación y almacenamiento de frutos en la germinación de semillas de burío	101
Anexo 6.	Cosecha de frutos de burío (<i>Heliocarpus appendiculatus</i>) por árbol. Veintiocho Millas, Matina, 2002.....	102
Anexo 7.	Estacas: Experimentos Fallidos: Efecto de diferentes dosis de AIB y sustratos sobre el enraizamiento de estacas.....	103
Anexo 8	Estacas de burío (<i>H. appendiculatus</i>). 1) efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación del AIB y la luz sobre el enraizamiento y 2) efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento.....	105
Anexo 9.	Evaluación del efecto de tres sustratos en el enraizamiento de acodos del burío.....	107

Gutiérrez Uribe, AM. 2002. **Propagación del burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.) por semillas, estacas y acodos.** Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

Palabras Claves: *Heliocarpus appendiculatus*, Tiliaceae, Malvales, burío, domesticación, reproducción sexual, semillas, tratamientos pre-germinativos de semillas, germinación, poder germinativo, secado, almacenamiento, semillas ortodoxas, propagación vegetativa, estacas foliadas, acodos aéreos, propagadores de sub-irrigación.

Resumen

El mercado mundial de edulcorantes está incrementando la demanda de azúcar orgánico. Esta es una oportunidad para los productores del dulce y el azúcar de caña orgánicos que utilizan el tallo y las raíces de burío (*Heliocarpus appendiculatus*) para la clarificación, sin el uso de polímeros sintéticos importados. Este trabajo ensayó la propagación del burío por semillas (cuatro ensayos), estacas (cuatro ensayos) y acodos (un ensayo). Además se estimó el número de frutos por árbol.

Para las semillas, el mejor tratamiento pregerminativo resultó simplemente extrayéndolas de los frutos con una licuadora (54.5% de germinación). Se encontraron diferencias en la germinación de las fuentes identificadas de Santiago de Paraíso (1450 msnm), CATIE (600 msnm), Platanillo o Tayutic (1100 msnm) y Veintiocho Millas (50 msnm). Santiago de Paraíso obtuvo los mejores resultados de germinación (62.3% en semillas y 50.3% en frutos). Bajo luz, temperatura y sustratos controlados las semillas y frutos de las cuatro fuentes mostraron interacciones altamente significativas. Por los bajos porcentajes de germinación de semillas después de seis meses, no es aconsejable el almacenamiento de frutos. Aunque la germinación de las semillas sin pre-tratamiento es baja, la regeneración natural parece la mejor alternativa para asegurar un uso sostenible del burío; el cual produce más de medio millón de frutos por árbol.

Para las estacas, en propagadores de sub-irrigación, los mejores porcentajes de enraizamiento (33%) se obtuvieron con AIB al 0.3% (P/V) disuelto en metanol puro aplicado a la base de la estaca. Las mejores estacas para propagar fueron de 14 cm de longitud y un área foliar de 25 cm².

Para los acodos, el musgo fue el mejor sustrato para un buen enraizamiento (53%) y producción de raíces. Sin embargo, se debe investigar más la propagación por este método, ya que ninguno sobrevivió al trasplante en bolsa.

Gutiérrez Uribe, AM. 2002. **Burío propagation (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.) by seeds, cuttings and air layerings.** Thesis M. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

Palabras Claves: *Heliocarpus appendiculatus*, Tiliaceae, Malvales, burío, domestication, sexual reproduction, seeds, seeds pre-germination treatments, germination, germinability, drying, storage, orthodox seeds, vegetative propagation, leafy cuttings, air layerings, non-mist propagators.

Summary

The world market of edulcorants is increasing the demand for organic sugar. This is an opportunity for non centrifugal and organic sugar cane producers that use the shoot and roots of burío (*Heliocarpus appendiculatus*) for clarification, through a process that do not use imported polymeric additives. This work tried the burío propagation by seeds (four trials), cuttings (four trials) and air layerings (one trial). Besides, it was estimated the number of fruits per tree.

For seeds, the best pre-germination treatment was simply blended the fruits (54.5% germination). Differences were found in the germination of four identified sources: Santiago de Paraíso (1450 masl), CATIE (600 masl), Platanillo (1100 masl) and Veintiocho Millas (50 masl). Santiago de Paraíso had the best germination results at the nursery (62.3% in seeds and 50.3% in fruits). Under controlled light, temperature and substrates the seeds and fruits of those four sources showed highly significant interactions. Because of the low germination of seeds after six months, it was found not advisable to store fruits. Eventhough germination of seeds without pre-treatment is low, natural regeneration seems the best alternative for ensuring a sustainable use of burío; which can produce more than half a million seeds per tree.

For cuttings, in non-mist propagators, the best rooting percentage (33%) was obtained with 0.3% (W/V) of IBA in pure metanol applied to the cutting base. Best cuttings for propagation were 14 cm long with a foliar area of 25 cm².

For air layerings, the moss is the best substrate for good rooting (53%) and root production. Nevertheless, more research is required in this propagation method, since none of them survived after planting in bag.

Propagación del burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.) por semillas, estacas y acodos

1. Introducción

Actualmente existe una demanda creciente de edulcorantes naturales en el mercado internacional. A nivel local, uno de los principales obstáculos para la certificación de productos orgánicos es la carencia de edulcorantes orgánicos¹. La corteza del tallo y las raíces de burío (*Heliocarpus appendiculatus*) ha sido usada tradicionalmente como fuente de mucílago en la clarificación del dulce² en las zonas cañeras húmedas de Costa Rica y es aceptado en la producción orgánica entre otras especies de árboles, arbustos o cactus.

En Turrialba, una zona cañera húmeda importante, los trapiches se abastecen principalmente de corteza de burío, que crece en sucesiones secundarias localizadas comúnmente a 5 km a la redonda, pero cada vez debe cosecharse en sitios más distantes³. En esta zona los trapiches medianos han hecho algunos intentos aislados en propagar esta especie, pero hasta el momento no han tenido éxito.

El consumo actual de dulce en Costa Rica es de sólo 3 kg/persona/año (FAO, 2000) y aunque el burío no es una especie amenazada, es necesario iniciar las investigaciones necesarias para evitar la escasez de esta especie, pues se ha observado una tendencia de crecimiento de la demanda en el mercado internacional por alimentos naturales entre el 5 y 40% anualmente. Los hábitos alimenticios están cambiando rápidamente, por lo que se estima que este mercado que hoy representa el 1% del comercio internacional llegará al 10% en pocos años (ITC, 1999 citado por Willer y Yussefi, 2001). Además, ya ha sido identificada como una de las especies de plantas que merecen una propuesta de domesticación en Costa Rica (CATIE, CYTED, OPS/OMS, OEA, 1994).

En este sentido, la información sobre métodos de propagación del *H. appendiculatus* puede ser útil para incluir esta especie en algún sistema agroforestal en los alrededores de los cultivos de caña de azúcar, en un periodo de barbecho que permita la recuperación de suelos, o como especie cicatrizante en claros de bosques manejados, en cercanías de regiones productoras de caña.

Esta investigación de tipo exploratoria, procura determinar el sistema de propagación más adecuado para el burío. Se seleccionaron algunas variables relevantes para obtener éxito en la propagación por semillas, estacas y por acodos. El propósito es recopilar información sobre las condiciones que favorecen la regeneración natural del burío en bosques húmedos y aplicar

¹ Federico Fernández, Fundación AMBIO

² -Panela, rapadura, chancaca, gur., 'non centi figal sugar cane

³ Ing. Felipe Ortuño, socio de la empresa As-sukkar S.A productora de dulce pulverizado orgánico, certificado por la BCS ÖKO-Garantie GMBH, que se exporta a Alemania desde 1998.

estos conocimientos a su domesticación, como una alternativa viable en zonas húmedas cercanas a trapiches.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinar sistemas adecuados de propagación del burío (*H. appendiculatus*), con el fin de dar un primer paso al uso sostenible de la especie en las regiones cañeras húmedas de Centroamérica.

1.1.2. Objetivos específicos

- Seleccionar el mejor tratamiento pregerminativo para los frutos del *H. appendiculatus*.
- Determinar el comportamiento germinativo de la semilla de *H. appendiculatus* proveniente de cuatro sitios de colecta, en condiciones de vivero y en condiciones controladas de luz, temperatura y sustrato.
- Evaluar la germinación y el vigor de las semillas de burío, provenientes de un solo sitio de colecta, posterior al almacenamiento con tres contenidos de humedad.
- Estimar la producción de semillas por árbol.
- Evaluar el efecto de diferentes factores sobre la capacidad de enraizamiento de estacas juveniles de *H. appendiculatus*.
- Determinar el medio de enraizamiento que favorece la emisión de raíces adventicias en acodos aéreos de *H. appendiculatus*.

1.2. Hipótesis de trabajo

- Semillas y frutos de *H. appendiculatus* colectadas en cuatro diferentes localidades presentan diferencias en la germinación bajo distintas condiciones tanto naturales como controladas.
- La viabilidad de la semilla no se altera significativamente con la reducción del contenido de humedad de los frutos almacenados durante seis meses en diferentes ambientes.
- Es posible propagar vegetativamente el *H. appendiculatus* mediante acodos aéreos y estacas juveniles

2. Revisión de literatura

2.1 El burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.)

El *H. appendiculatus* es un árbol mediano, que alcanza hasta 25 m de altura y 70 cm de diámetro a la altura del pecho (dap); corteza lisa o fisurada, grisácea o pardusca, exfoliante; la corteza interna es cremosa o amarillenta, dulce y muy fibrosa. La savia es transparente, mucilaginoso y pegajoso. Las inflorescencias son cimas axilares o terminales, con varias flores actinomorfas y aromáticas. Las flores, en panículas densas, son hermafroditas o pistiladas (árbol ginomonóico), pediceladas, cremosas, amarillas o amarillo-verdosas, tetrámeras o pentámeras; el cáliz es valvado. Las flores hermafroditas tienen corola; las pistiladas no; los pétalos son libres, valvados, más cortos que los sépalos; los estambres son numerosos (12-40) en las flores hermafroditas y están ausentes en las flores pistiladas; éstas pueden tener estaminodios; los estambres o estaminodios están insertos en un nectario anular, grueso y corto, que rodea el estipe del gineceo; posee un polen más o menos pegajoso (Croat, 1978); el gineceo tiene ovario súpero, es lateralmente comprimido, ciliado en el margen y con pubescencia corta en las superficies laterales; el estilo es grueso y hay dos estigmas ramificados. El fruto es capsular, pardo-rojizo, estipitado, lateralmente comprimido, con tricomas estrellados en las superficies laterales y márgenes con dos hileras de cerdas plumosas. Es indehiscente y contiene 1-3 semillas. (FUNDECOR, 2001) Ver Figura 1.

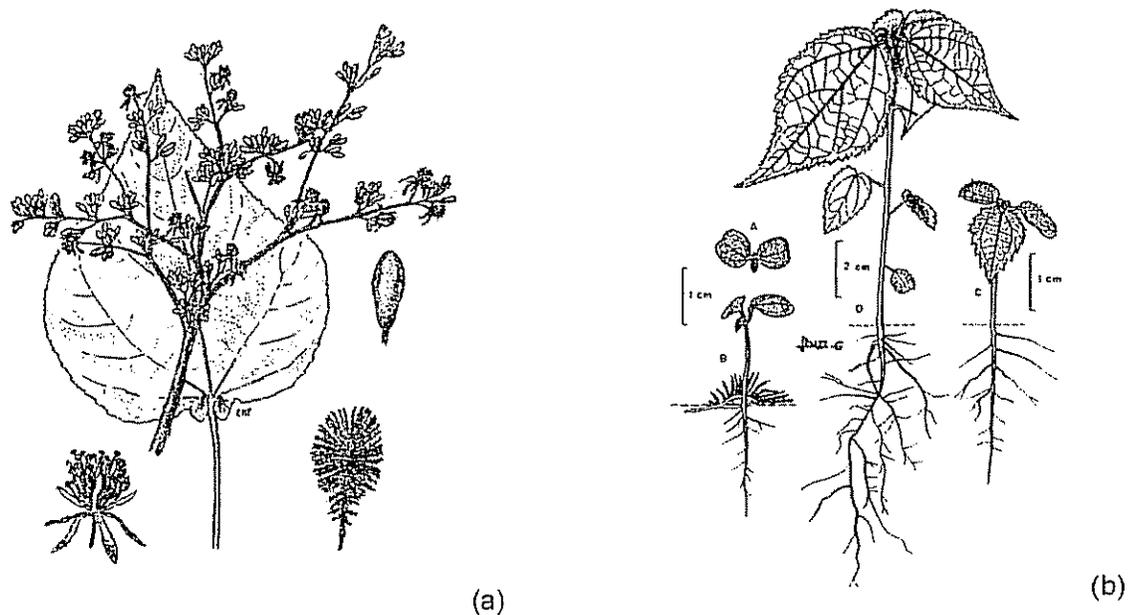


Figura 1. (a) *Heliocarpus appendiculatus*. hoja, cima, botón floral, flor hermafrodita y fruto. Lay. KK (1949) (b) Regeneración del *H. popayanensis*. Díaz y Ríos (1993). A cotiledones con protófilo, visto desde arriba (12 días); B Vista frontal con restos de fruto; C cotiledones y eófilos (21 días); D cotiledón, protófilos y metáfilos (54 días)

El género *Heliocarpus* toma su nombre del griego, y significa "fruto en forma de sol" porque sus frutos se parecen a un sol con sus rayitos lanosos o a una pequeña custodia (Pérez, 1947). Ver Anexo 1. El *H. appendiculatus* se le conoce como burío, burío blanco y burío colorado (Costa Rica); cajetón (Guatemala); balsa, pestaña mula (Nicaragua); calagua (El Salvador); jonote, jonote blanco, jonote colorado (Veracruz, México); majao (Honduras) (Lay, 1949). En Costa Rica se le llama burío blanco o colorado, dependiendo del color del mucílago, que puede ser transparente o rojizo.

2.1.1 Distribución

H. appendiculatus es una especie heliófita efímera propia de las primeras etapas de la sucesión secundaria en zonas húmedas y muy húmedas de los bosques tropicales, premontanos y montanobajos del piso basal tropical, según la clasificación de zonas de vida de Holdridge. Esta especie se distribuye desde México hasta Panamá (Quesada *et al.*, 1997), desde 0 hasta 1.700 msnm. En Costa Rica se encuentra en la Cordillera de Guanacaste, Tilarán, Talamanca, Pacífico Norte, Centro y Sur; Zona Norte y Caribe (FUNDECOR, 2001; Figura 2).

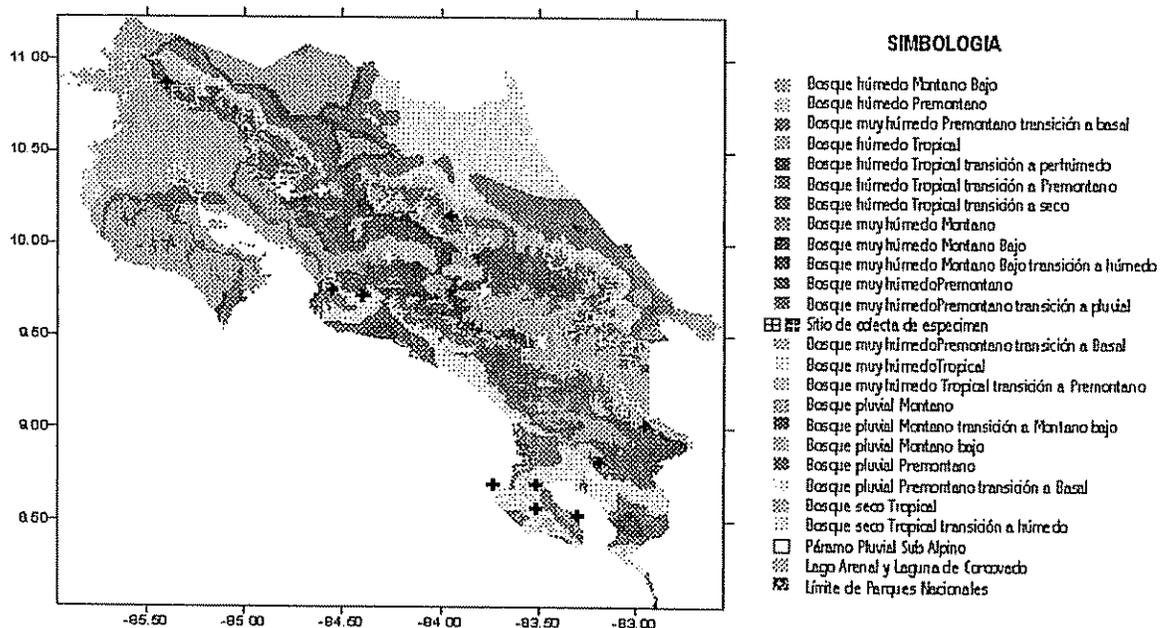


Figura 2. Distribución del burío (*H. appendiculatus*) en Costa Rica.
Fuente: Fundecor, 2001

2.1.2 Fenología

En general, la sincronización de las fases fenológicas con las variables ambientales aumenta a medida que el ciclo de vida disminuye. En el caso del burío, no se encontró información sobre la

esperanza de vida, pero se puede inferir que es corta (menos de 15 años), como la de la mayoría de las especies heliófitas efímeras. En un estudio fenológico amplio realizado en Costa Rica, Frankie *et al.* (1974) encontraron que en la Estación Biológica La Selva, el *H. appendiculatus* florece de diciembre a enero y fructifica de enero a marzo; la producción de hojas es continua y no las pierde durante el año (Frankie *et al.*, 1974), pues la sequía no es un limitante en los trópicos húmedos (Ackerly, 1996). Durante el mes de enero de 2001, los árboles de burío que se encuentran en el CATIE, tenían frutos verdes, los cuales cayeron entre febrero y marzo de ese año.

Se considera que 10 árboles en cada sitio es un número adecuado para hacer un seguimiento fenológico de la especie y también para el estudio de propagación por semilla, por tratarse de una especie monóica y de sitios con condiciones homogéneas (Fournier, 1978; Kemp, 1979). El tiempo de ejecución de este estudio no permite obtener resultados fenológicos confiables. Además, se requerirían varias observaciones en localidades diferentes, para lograr encontrar diferencias entre sitios. Sin embargo, conviene anotar la fenología de los árboles en las fechas de recolección de semillas y material vegetativo, para interpretar las diferencias en la propagación. Los datos climáticos básicos que se deben consultar para esta clase de estudios son la altitud, la precipitación, la temperatura (media máxima y media mínima diaria) (Kemp, 1979).

2.1.3 Aprovechamiento

Las tiras de la corteza del *H. appendiculatus* se utilizan en Costa Rica para hacer mecate y pueden usarse en textilería y cordelería (Holdridge *et al.*, 1997; FUNDECOR, 2001). En México, la corteza fue usada por la cultura Maya para la fabricación de papel⁴. En las regiones húmedas de Costa Rica la corteza del burío produce un mucílago que se utiliza para la clarificación de jugos de caña (Labarthe y Reiche, 1989). La corteza cocida en agua es usada para enfermedades del ganado (Lay, 1949).

Los descortezadores prefieren la corteza de los árboles que se encuentran en bosques secundarios a los árboles expuestos al sol, pues dicen que el mucílago flocula más rápidamente las impurezas; además, prefieren el mucílago de la raíz, pero en trapiches pequeños sólo cortan las raíces en casos de escasez de corteza, para evitar enfermedades en los árboles que manejan por rebrotes⁵. Los trapiches medianos talan árboles juveniles en la regeneración de bosques secundarios⁶ pues no han tenido éxito en la propagación de la especie.

⁴ Dr. Musalén, comunicación personal

⁵ Don Rodolfo Sojo Contreras, propietario de un pequeño trapiche en el distrito Ires Equis del cantón de Turrialba, que produce 900 – 1000 tapas de dulce semanalmente.

⁶ Miguel Sojo, trabajador de la empresa As-Sukkar S.A. productora del dulce pulverizado Dulce-I, quien se encarga de conseguir la corteza

2.2 Proceso de clarificación del dulce

El proceso de clarificación consiste en agregar el agente clarificador a los jugos de caña, poco antes de alcanzar el punto de ebullición para retirar la cachaza, un subproducto que normalmente se emplea en la nutrición animal, obteniendo así un jugo de buena calidad para elaborar el dulce, panela, gur, chancaca o rapadura (CIMPA⁷, 1992). Para realizar la clarificación o descachace se requiere calor, cal y agentes clarificadores. Los agentes clarificadores pueden ser mucílagos naturales, polímeros sintéticos o hidrosulfito de sodio (Chaparro Montaña, 1989). El mucílago y los polímeros actúan como floculantes de sólidos en suspensión, coloides y algunos compuestos colorantes y precursores de color. (Figura 3).

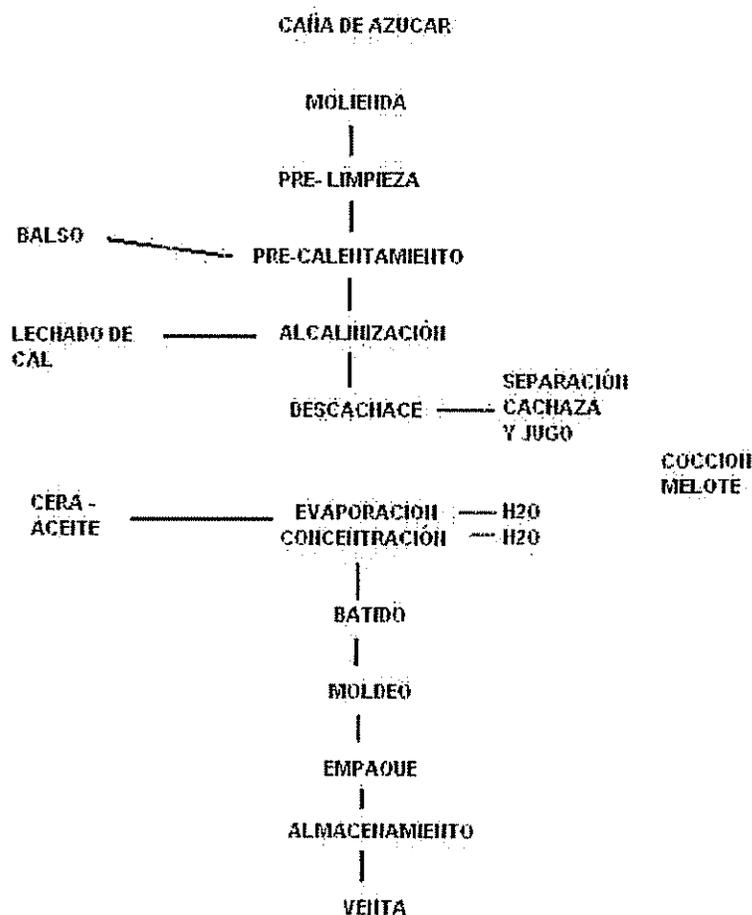


Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración del dulce o panela.

Fuente: CIMPA, 1998 citado por Sandoval, 1998.

Entre las alternativas disponibles está el uso de clarificantes químicos (tipo polímeros). El uso del clarificante químico tiene ventajas económicas. Además son estables biológicamente, el suministro está garantizado, se puede manipular técnicamente, disminuye el consumo

⁷ CIMPA: Centro de Investigaciones en Caña Panelera, Colombia.

energético de las hornillas y los costos de producción. En Colombia se evaluó la efectividad de polímeros aniónicos, catiónicos y no iónicos. El mejor resultado se obtuvo con los polímeros aniónicos, pero su eficiencia depende de la variedad de caña y de la dosificación del floculante (Chaparro, 1989). Las desventajas de su uso son que genera salida de divisas, y se requiere de una práctica de regulación de temperaturas, que no está al alcance de los pequeños productores de dulce. Además este proceso no es aceptado para la certificación de dulce orgánico.

El hidrosulfito de sodio está prohibido en muchos países, por exceder los niveles máximos permitidos por la FDA⁸, OMS⁹ y la FAO (0.7 mg de SO₂/kg de peso corporal / día).

Entre los mucílagos naturales para la clarificación, en la India se usa el "Jhingan gum" (*Lannea coromandelica*) y el "Merill" (*L. grandis*), dos especies de la familia Anacardiácea; a veces también se usa la goma que se obtiene del tronco del marañón (*Anacardium occidentale*), especie introducida del neotrópico (Rehm y Espig, 1991). En El Salvador y las regiones secas de Costa Rica y Colombia, la clarificación se realiza con la corteza del guácimo (*Guazuma ulmifolia*). En las zonas húmedas de Colombia, se emplea la corteza del balso (*Heliocarpus americanus*).

En Colombia se ha investigado sobre la posibilidad de industrializar los polímeros que contiene el balso (*H. americanus* sin. *H. popayanensis*). La Rotta (1989) analizó la extracción y conservación del balso en estado líquido y sólido (por liofilización, atomización o secado al vacío). La liofilización resultó ser el proceso más efectivo, pero los costos no compensan los ingresos que recibiría el productor. La atomización podría estar al alcance de los productores, si es optimizado, pues sus rendimientos son muy bajos. El secado al vacío no es fácil de aplicar. El mucílago líquido puede ser refrigerado por 60 días, pero los resultados de otros ensayos realizados en el CIMPA sugieren que se pierden sus propiedades floculantes paulatinamente.

En los trapiches pequeños de las zonas húmedas de Costa Rica y Panamá se emplea artesanalmente el mozote (*Triumfetta lapula* L.) y el burio (*Heliocarpus appendiculatus*), pero en Costa Rica se prefiere la corteza y la raíz del burio, porque el proceso de clarificación es más rápido¹⁰. Estas investigaciones, sin embargo no resuelven el problema de suministro constante de materia prima.

Para extraer el mucílago, la corteza se sumerge por varias horas en agua, se macera ocasionalmente durante el remojo y la solución se adiciona al jugo de caña en la paila limpiadora, antes de que alcance los 100° C. La dosis de aplicación varía, según la escala de producción de la que se trate. En la escala pequeña, se usan aproximadamente 7 kg de

⁸ U.S. Food and Drug Agency.

⁹ OMS: Organización Mundial de la Salud

¹⁰ Don Rodolfo Sojo Contreras, comunicación personal

solución de mucilago para producir 1000 tapas de dulce por semana.¹¹ En escala mediana se usan 10 kg de corteza para producir 1000 tapas de dulce¹², de aproximadamente 800 g cada una (800 kg de dulce). En escala grande se usan 10 kg de corteza para obtener 90 kg de azúcar orgánica¹³.

En escala pequeña se utilizan las ramas de árboles de burío con más de 7 cm de diámetro, provenientes de árboles de regeneración natural que se conservan intencionalmente en los cultivos, manejándolos por rebrote. En escala mediana y grande se prefieren las raíces de árboles, de 20 m de altura y 12 a 15 cm de diámetro o más¹⁴. Un árbol de 30 m de altura y 20 cm de diámetro puede producir entre 35 y 40 kg de corteza, que alcanza para la producción de dulce orgánico pulverizado durante un mes¹⁵. De 40 kg de raíces se obtienen 17 kg de corteza (42.5% de rendimiento). Un árbol de 10 m de altura tiene 3 ó 4 años de edad (Stegemann, 1994 citado por Küppers *et al.*, 1996). Después de cinco años de abandono de una parcela de cultivo cerca de la Estación Biológica La Selva, el burío domina el estrato superior de la sucesión alcanzando los 20 m de altura y bajo su sombra crece el *Goethalsia meiantha*; en una parcela de ocho años de abandono el burío ya no se encuentra (Werner, 1985).

La empresa As-Sukkar S.A., muele a la semana 350 toneladas de caña de azúcar para la producción de tapa de dulce granulada, marca Dulce-T, utilizando tecnología del Centro de Investigaciones de Caña Panelera en Colombia (CIMPA). La empresa tiene dos líneas de producción: una para el mercado nacional, que utiliza unos polímeros sintéticos aprobados para la salud humana; la otra es destinada al mercado internacional, en la cual el producto floculante se obtiene del burío (*H.appendiculatus*) (Cuadro 1). El proceso completo de clarificación con el burío es 70% más caro que utilizando el polímero y la calidad del dulce es la misma (Chaparro, 1989).

Aunque la clarificación de los jugos de caña es de bajo costo, su proceso es crítico para obtener un producto de alto valor. Un costo de 65.59 colones por tonelada de caña solamente representa el 0.3 % de los costos de una molienda del dulce orgánico (sin incluir los costos administrativos, financieros ni de ventas), pero representa una diferencia en el precio de venta del dulce orgánico entre 30 y 50%¹⁶. En el caso del azúcar orgánico, que se comenzó a producir en Juan Viñas en mayo de 2002, el precio de venta de un saco de 50 kg fluctuó entre 7000 y 15000 colones, aproximadamente 20 a 42 dólares a precio de mayo 31 de 2002, dependiendo

¹¹ *Idem.*

¹² Don Ruperto Maroto, encargado del control de calidad en el trapiche de Las Vueltas de Tucurrique, que produce 1000 tapas por día

¹³ Don Juan Morales, jefe del Ingenio Juan Viñas

¹⁴ Eduardo Sánchez, recolector de raíces de burío para el trapiche de las Vueltas de Tucurrique

¹⁵ Don Miguel Sojo, descortezador para el trapiche de Az-Sukkar, productor del dulce orgánico pulverizado

¹⁶ Ing. Felipe Ortuño, As-sukkar S.A., comunicación personal

de la calidad. El saco de azúcar blanca corriente, para consumo interno, varió entre 17 y 20 dólares en ese lapso de tiempo¹⁷

Podrían investigarse muchas otras fuentes del polímero utilizado. Sin embargo esto no solucionaría el problema desde el punto de vista de conservación de la biodiversidad; sólo lo desplazaría.

Cuadro 1. Costos total y costo unitario de clarificación del dulce en la empresa As-Sukkar S.A. (Tayutic, Turrialba) en colones y en dólares (agosto de 2001)

	Mucilagos		Polímeros	
Materia prima	26 kg	¢ 10,500 (US\$ 31.6)	3.36 kg	¢ 6,585.60 (US\$ 19.8)
Preparación (mano de obra)	2 jornales	¢ 5,536.32 (US\$ 16.7)	-	-
Salario triplero (50%)	2 jornales	¢ 6,920.40 (US\$ 20.8)	2 jornales	¢ 6,920.40 (US\$ 20.8)
Costo Total por molienda	¢ 22,956.72 (US\$ 69.15)		¢ 13,506.00 (US\$ 40.7)	
Costo por tonelada	¢ 65.59 (US\$ 0.20)		¢ 38.59 (US\$ 0.12)	

Nota: el costo total se refiere a la molienda de 350 toneladas por semana

2.3 Domesticación

La Agenda 21 ha reconocido la necesidad de rescatar muchos usos múltiples de los bosques (Naciones Unidas, 1992). Además, para lograr el éxito en el establecimiento de una especie en plantaciones o en programas de enriquecimiento en áreas forestales intervenidas, es necesario valorar el conocimiento de los usos locales de estos productos del bosque, las necesidades y expectativas de las personas del entorno y los sistemas socioeconómicos y geográficos a los que pertenecen (FAO, 1995; Raintree, 1996).

La corteza del *H. appendiculatus* se usa como mecate, para la fabricación de papel en México y como clarificante para preparar el dulce. Sin embargo, Peters (1994) no recomienda el uso de especies heliófitas dentro del bosque, como el caso del burío, pues afirma que conlleva a un mayor impacto ecológico que si se tratara de especies del bosque primario y el mantenimiento de esta especie puede motivar a aumentar el área de claros. La domesticación puede ser una solución que contribuya a la preservación de los hábitats de bosque para otras especies que toleran sombra y pueden tener un mayor valor agregado (Simons, 1996)

El hecho de que el burío sea una especie conservada intencionalmente cerca de Turrialba, es un buen indicio de que la especie tendría éxito en la aceptación en programas de reforestación con diversos fines, utilizando técnicas de propagación sencillas, al alcance de cualquier productor.

¹⁷ Tomás Madriz, Administrador de los cultivos de caña y cosecha en la Hacienda Juan Viñas, comunicación personal

2.4 Estrategias de propagación y el burío

La propagación de la especie es el primer paso en el proceso de domesticación. Se ha encontrado alguna información sobre la germinación de la semilla del burío (Vazquez-Yanes, 1976; Vazquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996; Oberbauer, 1990), pero no se encontraron estudios sobre la propagación por estacas o acodos de esta especie.

La selección de los mejores individuos como árboles semilleros significa elegir los mejores individuos en plena madurez sexual. Esto significa asignar más recursos a la reproducción (Vazquez-Yanes, 1980), sacrificando la producción de mucílago. Los descortezadores prefieren la corteza de los árboles juveniles y esto no permite seleccionar los mejores árboles, al menos en el corto plazo, pues todavía no producen semilla. El aprovechamiento parcial de la corteza puede debilitarlo para la producción de semillas. Entre los mucilagos también existen diferentes calidades. Se prefiere el mucílago transparente al rojizo¹⁸; y la corteza que no se astilla al macerarlo, que por lo general debe ser de menos de una pulgada de espesor. Sin embargo, no está claro si las diferentes calidades del mucílago son consecuencia de factores ambientales, factores fisiológicos o es una característica genética¹⁹. Todo esto regulado por los patrones de competencia. Reproducir los árboles juveniles vegetativamente sería una opción, si es que la producción de las diferentes calidades de mucílago está regulada genéticamente.

2.4.1 Propagación por semillas

Las semillas de las heliófitas efímeras tienen bajas reservas alimenticias, pues la planta distribuye sus reservas alimenticias en un número alto de semilla. Esta estrategia de reproducción pródiga (Planka, 1970) le ayuda al burío a evitar que sea consumida por depredadores, como el insecto de la familia Curculionidae, que se encontró en frutos perforados de burío. Los frutos de *H. appendiculatus* son dispersados por el viento y por lo tanto no podría ser una semilla muy pesada, como muchas especies pioneras.

2.4.1.1 Proceso de germinación y factores que la controlan

Para que las semillas germinen se requiere primero que la semilla esté viva, segundo que las condiciones ambientales sean favorables y tercero que no haya ningún impedimento externo para que las semillas germinen (Hartmann y Kester, 1972).

Vazquez-Yanes (1976) reporta que la cápsula impone cierto tipo de latencia a la semilla de burío, pero después de un año de almacenamiento la cápsula pierde esta característica. En otro estudio con árboles individuales, en el que aplicaron un tratamiento pregerminativo con KNO_3 y

¹⁸ Sr. Rodolfo Sojo, Trapiche de Ires Equis, Sr. Ruperto Maroto, descachazador en el Trapiche de las Vueltas de Iucurrique, Sr. Miguel Sojo, descortezador en As_Sukkar S.A. y Sr. Juan Ramon Umaña, descortezador en retiro

¹⁹ Dr. Manuel Guarigunta, comunicación personal

un control, encontraron que sólo en uno de 10 árboles el tratamiento pregerminativo fue efectivo. Concluyen que no se debió a una latencia fotorregulada ni termorregulada, sino a otro tipo de latencia aun no bien conocida (Figuroa y Vazquez-Yanes, 2002). Por esta razón en los experimentos diseñados no se utilizó ningún tratamiento directamente sobre la semilla, sino simplemente su extracción por los métodos empleados en el Banco de Semillas Forestales del CATIE y el método de extracción de semillas de Hernández (1989).

Los factores ambientales más importantes que controlan la germinación de la semilla son el agua, la temperatura, la luz, el oxígeno y otras sustancias químicas (Kramer y Kozlowski, 1979; Mayer y Poljakoff-Mayber, 1975). El primer paso es la imbibición de agua, seguido por el proceso de germinación propiamente dicho, el cual involucra una enorme actividad enzimática y respiratoria, digestión, transporte de alimentos y asimilación (Hartmann y Kester, 1972). Por último ocurre el desarrollo del embrión.

La imbibición es un proceso físico que ocurre en semillas vivas o muertas. Las presiones durante la imbibición pueden ser de cientos de atmósferas. Las proteínas y los mucílagos en la celulosa y sustancias pécticas en la testa absorben mucha agua. Lo cual permite romper la testa por un incremento de volumen (Mayer y Poljakoff, 1975).

Los factores que se analizaron en este estudio fueron la temperatura y la luz

a) Temperatura

Vazquez-Yanes, (1976) determinó que la semilla del *H. appendiculatus* es termoblástica, pues la temperatura fue el factor que más influye en la germinación de esta especie. Esta especie recién recolectada germinó mucho mejor en ambientes con temperaturas altas o con cambios de temperaturas de 10°C (de 26 a 36°C). Después de un año de almacenamiento, la semilla germinó en un amplio rango de temperaturas, desde temperaturas constantes relativamente bajas. A 16°C la germinación fue nula. En el mismo estudio, el autor encontró que se obtiene una germinación del 65% sumergiendo las semillas recién cosechadas en agua caliente a diferentes temperaturas, por 1 minuto y en ebullición, hasta por un minuto.

El *H. donell-smithii* también requiere un cambio fuerte de temperaturas para germinar mejor, preferiblemente con temperaturas por encima de 31°C durante una pocas horas del día (\pm 6 horas) (Vazquez-Yanes, 1981). Las altas temperaturas tuvieron un efecto sobre la permeabilidad de la cápsula donde las semillas vienen envueltas (Vazquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1982).

b) Luz

La luz estimula la germinación de las semillas, pero no es estrictamente necesaria (Flores-Vindas, 1998) Las semillas de *H. appendiculatus* no son fotoblásticas, pues la germinación no parece diferir mucho cuando germinan bajo todo el espectro de luz (luz blanca), bajo luz roja, con sombra entre un 60-70% o en completa oscuridad (Vazquez-Yanes, 1976; Vazquez-Yanes

y Orozco-Segovia, 1996). Incluso bajo condiciones de rojo lejano la germinación no difiere demasiado de las anteriores, a diferencia de la mayoría de las especies pioneras para las cuales la luz roja lejana es inhibitoria (Bazzaz, 1991). Sin embargo, para Figueroa y Vazquez-Yanes (2002) el hecho de carecer de este tipo de latencia no puede ser usado para explicar la ausencia de plántulas debajo del dosel del bosque. La explicación que dan a este hecho, es por el fracaso de las semillas para establecerse debajo del dosel del bosque.

En otros experimentos reportan que la germinación de semilla colocando platos petri bajo el dosel del bosque fue nula (Vazquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996). Esto puede deberse a la cantidad de luz que llega al suelo durante el día. En condiciones naturales la germinación se desencadena como respuesta a una relación de luz roja:rojo lejano (R:FR) alta y prolongada en el tiempo para germinar, pero muchas malezas herbáceas y especies pioneras logran germinar en la oscuridad; otras pueden germinar con una cantidad de luz tan pequeña como 0.1 mol m^{-2} (Smith, 1995).

Para que las semillas fotoblásticas germinen, se requiere que el fitocromo rojo capte la luz roja, para transformarse en fitocromo rojo lejano (Pfr), que es el pigmento que desencadena la germinación, entre otras respuestas fisiológicas, pero si la luz roja se agota antes de llegar al sotobosque, las semillas no germinan²⁰. Los estudios bioquímicos han clasificado los fitocromos como Tipo I (fitocromo A) y Tipo II para los fitocromos B, C, D y E. El fitocromo A (phyA) es nueve veces más abundante en plantas etioladas (alargadas) de arveja que los demás fitocromos (Taiz y Zeiger, 1998). Los fitocromos más estudiados, hasta ahora son los A y B. El fitocromo A es inestable en su forma de fitocromo rojo (Pr), por lo cual en plantas sombreadas el fitocromo A se agota con el tiempo y el fitocromo B, que es estable en su forma Pr, llega a ser dominante con el tiempo. El fitocromo B presente en las semillas deshidratadas afecta la germinación de semillas que se embeben en la oscuridad (Flores-Vindas, 1998).

El contenido de giberelinas puede ayudar a explicar la germinación de semillas en la oscuridad. En tomate, semillas con un contenido normal de giberelinas germinan bien en la oscuridad (Groot y Karssen, 1987). Aplicando la giberelina en el medio a semillas mutantes de *Arabidopsis sp*, con deficiencias en esta hormona, logran germinar, mientras que semillas las silvestres nunca lo hacen. Las semillas mutantes que germinaron en la oscuridad necesitaron una concentración 100 veces mayor de giberelina que germinando en la luz. Por lo tanto la giberelina superó el obstáculo genético y la necesidad de la luz (Karssen *et al.*, 1989).

2.4.1.2 Fuentes de semillas Identificadas

El *H. appendiculatus* posee un rango de distribución altitudinal entre 0 y 1700 msnm, por lo cual es probable que existan diferencias en la germinación de sitios distantes (Hartmann y Kester,

²⁰ Profesor Marco Vinicio Gutiérrez, Curso de Ecofisiología vegetal Mayo 14 de 2002

1972). Para hacer una evaluación de poblaciones se requeriría de una gran cantidad de muestras en cada sitio con condiciones diferenciadas de clima, suelo, etc., que no harán parte de este estudio.

En ausencia de estimaciones de varianza de las poblaciones, es mejor hacer un muestreo de un número grande de árboles (Callaham, 1964 citado por Kemp, 1979). En poblaciones homogéneas es suficiente hacer un muestreo de 5 a 10 árboles; en poblaciones heterogéneas de 25 a 30 árboles. La cantidad de semilla debe ser igual para todos los individuos. Si no es posible determinarla en el campo, debe separarse árbol por árbol y después mezclar semillas por partes iguales de cada uno. También interesan factores edáficos del sitio como material parental, textura, drenaje y pH. Conviene tomar nota de la influencia humana, evidencia de desastres naturales y vegetación que compone la comunidad seleccionada como fuente de semilla y material vegetativo (Kemp, 1979).

2.4.1.3 Medición de la germinación

Existe discusión entre los autores sobre la conveniencia de usar el porcentaje de germinación como indicador de las mejores características de la semilla. Por esta razón se han elaborado muchos índices que le dan mayor peso a la velocidad para germinar. El vigor de la semilla o energía germinativa se expresa en número de días requeridos para obtener un porcentaje dado de semillas germinadas. Entre los índices más utilizados en el Banco de Semillas Forestales del CATIE (BSF) están el índice de Czabator (1962) y el índice de Diavanshir y Pourbeik (1976). El significado de estos índices o Valores de Germinación es el número de plántulas útiles esperado de los germinadores, para ser sembrados en el campo o en el vivero. Estos índices deben aplicarse utilizando conteos diarios, o máximo cada dos días. Otra forma de estimar la germinación es con el coeficiente de velocidad (Kotowski, 1926 citado por Hartmann y Kester, 1972).

a) Índice de Czabator

Este índice, conocido como Valor de Germinación es muy utilizado en especies arbóreas, pero fue desarrollado para semillas de pino. Se calcula mediante la fórmula

$$VG = VGD * VGD_{m\acute{a}x}$$

Donde VG es el valor de germinación de Czabator (1962), VGD es la velocidad de germinación promedia acumulada al final del ensayo, determinada por la germinación acumulada dividida por el número de días desde la siembra y $VGD_{m\acute{a}x}$ es la velocidad de germinación en el día que alcanza el valor máximo

Su autor reconoce que es un índice muy sensible al tiempo de duración del ensayo. Según Diavanshir y Pourbeik (1976), este índice subestima el número de plántulas disponibles para el vivero, a medida que la germinación de semillas ocurre más alejada del día en que se logró el

máximo valor de germinación. Además, podría dar por terminado un ensayo muy pronto, cuando la velocidad de germinación disminuye, aunque haya muchas semillas viables que tardan en germinar.

b) Índice de Diavanshir y Pourbeik

Para remediar las deficiencias del índice de Czabator, Diavanshir y Pourbeik (1976) incluyen en su índice los días en que las semillas comienzan a germinar, además de la velocidad y el porcentaje acumulado de germinación. El cálculo se realiza mediante la fórmula,

$$VG = \frac{\sum VGD}{NF} * \frac{\% GDA}{100} * 10$$

Donde, VG es el Valor de Germinación de Diavanshir y Pourbeik, $\sum VGD$ es el valor acumulado de Velocidad de Germinación Diaria (% de germinación acumulada / número de días desde la siembra), NF es el número de días transcurridos desde el comienzo de la germinación, %GDA es el porcentaje de Germinación Diaria Acumulada. Esta ecuación incluye una constante de 10, que según los autores puede ser cambiada a 7 u 8, en caso de que alguna especie tenga una velocidad de germinación superior al 10% diario, en promedio.

c) Coeficiente de velocidad

El coeficiente de velocidad es el recíproco del número de días ponderados que requiere un ensayo para darse por concluido y multiplicado por un factor de 100. Se calcula con la fórmula.

$$\text{Coeficiente de velocidad} = \frac{\text{Número total de plántulas}}{A_1T_1 + A_2T_2 + \dots + A_nT_n} * 100$$

Donde, A es el número de plántulas que emergen en un número dado de días T (Kotowski, 1926 citado por Hartmann y Kester, 1972). Este índice tiene la ventaja de que no es sensible al tiempo de duración del ensayo, ni cambia cuando ya no se presenta más germinación.

2.4.14 Almacenamiento de semillas

Según las condiciones que requieren las semillas para su almacenamiento, éstas se clasifican en semillas recalcitrantes, intermedias u ortodoxas. Las semillas recalcitrantes no soportan la desecación, ni pueden ser almacenadas a bajas temperaturas. Esta característica se presenta en semillas con muchas reservas alimenticias en forma de almidones, aceites, etc. Las semillas ortodoxas soportan la desecación a bajos contenidos de humedad y las bajas temperaturas de almacenamiento. Las semillas intermedias pueden ser desecadas a bajos contenidos de humedad, pero no soportan las bajas temperaturas de almacenamiento.

Si se descarta que el *H. appendiculatus* es recalcitrante, por sus bajas reservas alimenticias, y las semillas muestran una disminución notable de su vigor con contenidos de humedad por

encima de 8-9%, es probable que sea una semilla no ortodoxa. En algunos casos las semillas tienen comportamiento de ortodoxas en un intervalo de contenido de humedad con un límite alto (8-9%); en otros casos las semillas no ortodoxas toleran la desecación a muy bajos contenidos de humedad. Todo lo que no se ajusta a las definiciones de semilla ortodoxa o recalcitrante, desde el punto de vista de almacenamiento fue llamado como semillas intermedias (Ouédraoug *et al.*, 1996).

Factores que deben ser controlados para tener éxito en el almacenamiento

Las condiciones de almacenamiento adecuadas dependen de muchas variables, que deben ser ajustadas de acuerdo con el comportamiento de las semillas como recalcitrantes, intermedias u ortodoxas. Los factores que deben considerarse para el éxito en el almacenamiento de semillas de especies arbóreas (Macdonald, 1986) se describen a continuación:

a) la especie

La cápsula en que viene envuelta la semilla de *H. appendiculatus* le proporciona una protección adicional, pues éstas cumplen una función de protección mecánica y preservación por largos periodos de tiempo (Hartmann y Kester, 1972). Es probable que su estructura reticulada, cubierta por una membrana fina, le ayude a mantener por más tiempo su viabilidad, pero al parecer esta protección se pierde con el tiempo (Vazquez-Yanes, 1976).

b) recolección y extracción de la semilla

La extracción incorrecta de la semilla es crítica, especialmente si la semilla no está completamente desarrollada.

c) contenido de humedad de las semillas

El IPGRI/DFSC²¹ propone que en ensayos preliminares se deseque la semilla a contenidos entre 15% y 5% (Ouédraoug *et al.*, 1996).

d) Temperatura de almacenamiento

El IPGRI/DFSC propone temperaturas de almacenamiento de 15° C, 5° C, 0° y -20° C con arreglos factoriales de diferentes contenidos de humedad.

e) Humedad relativa

La humedad ambiental que rodea debe ser baja durante el almacenamiento, excepto para las semillas recalcitrantes, pues los contenidos de humedad altos previenen la pérdida de agua en estas semillas (Macdonald, 1986).

f) Fluctuaciones atmosféricas

La temperatura, la humedad relativa y el contenido de humedad de las semillas deben permanecer constantes durante el almacenamiento. Los cambios en temperatura y humedad relativa favorecen la presencia de enfermedades. Las bajas temperaturas ayudan a prevenirlas.

²¹ International Plant Genetic Resources Imbreeding / Danida Forest Seed Centre

g) aireación

Los sitios de almacenamiento deben estar bien ventilados y los empaques deben permitir el intercambio de gases.

h) semillas dañadas, con enfermedades o plagas

Nunca deben ser almacenadas. Para prevenir estos daños, se acostumbra tratar las semillas con un fungicida.

2.4.1.5 Germinación en semillas almacenadas de burío

Vazquez Yanes (1976) encontró que los frutos almacenados de *H. appendiculatus* durante 1 año, mejoraron la capacidad de germinación de los frutos y semillas, sin necesidad de aplicar cambios de temperatura, en comparación con semillas y frutos recién cosechados, que obtuvieron mejores porcentajes de germinación con temperaturas altas o con cambios de temperatura.

2.4.2 Propagación por estacas

La propagación por estacas es un medio para alcanzar las mayores ganancias genéticas en el menor tiempo posible y es una alternativa muy utilizada para reproducir material masivamente incrementando la calidad y la productividad de las plantaciones (Leakey *et al.*, 1982; Mesén, 1998). Se considera un sistema apropiado de propagación si el enraizamiento está por encima del 70% (Leakey, 1987). El uso de material juvenil para la propagación vegetativa ha demostrado ser el más eficiente en numerosos estudios realizados por el CATIE (Leakey, *et al.* 1990; *Gmelina arborea* y *Cedrella odorata*: Díaz, *et al.*, 1991 a y b; *Araucaria hunsteinii*: Mesén, 1988; cacao: Mohd *et al.*, 1984), aunque ningún estudio se ha realizado en esta especie en particular

El proceso de enraizamiento puede dividirse en cuatro fases: a) diferenciación de las células cercanas al anillo del tejido vascular, frecuentemente en células del parénquima cercanas al xilema y floema inmaduros o secundarios; b) la formación de células iniciales en las nuevas áreas meristemáticas; c) la organización de las células en los primordios radicales y d) crecimiento y emergencia. Los requerimientos para la iniciación de raíces están afectados por factores genéticos y estado fisiológico de la planta, mientras que la elongación de las raíces es más sensible a factores ambientales (Leakey, 1985)

La evaluación del porcentaje de enraizamiento es la variable respuesta de mayor interés con fines de propagación, por lo cual se hace énfasis en este aspecto para seleccionar los mejores tratamientos obtenidos con cualquier especie de interés. En orden de importancia le sigue el número de raíces por estaca enraizada y la velocidad a la cual las raíces emergen y se desarrollan. Es deseable que las estacas tengan muchas raíces, pero tres raíces bien ramificadas y distribuidas alrededor de las estacas son suficientes (Leakey, 1985).

El enraizamiento de estacas puede ser mejorado de diferentes formas: a) químicamente por la aplicación de auxinas, reguladores de crecimiento, co-factores de enraizamiento y fungicidas, b) físicamente regulando la longitud de la estaca, su área foliar, el corte de la base y c) ambientalmente manipulando el contenido de humedad y la humedad relativa, la luz, la temperatura y el medio de enraizamiento (Leakey, 1985).

2.4.2.1 Factores que afectan el enraizamiento

Para facilitar el entendimiento de estos factores se agruparon en tres: factores genéticos, fisiológicos y ambientales, aunque existen frecuentemente interacciones entre ellos que han sido poco exploradas y reportadas en la literatura científica, como puede ser el caso del conocimiento tradicional de los campesinos que asocian un mayor éxito en el enraizamiento de las estacas de especies arbóreas sembradas en la fase de la luna de cuarto menguante (Cuervo, 1991).

a) Factores genéticos

En estudios exploratorios como éste, es imposible evitar la variabilidad genética que existe entre individuos, y más aún si el material es tomado de la regeneración natural, como en el presente caso.

Entre clones existen diferencias en el porcentaje de enraizamiento y el número de raíces de las estacas (*Albizzia guachapele*, Mesén, 2001; *Cordia alliodora*, Mesén *et al.*, 1997 a y b; Mesén, 1993). En cacao existen diferencias entre clones, entre ramets, diferentes partes del mismo árbol y diferentes partes de la misma rama (Odegbaro y Adepape, 1986).

b) Factores fisiológicos

Los factores más frecuentemente analizados para explicar las diferencias en el enraizamiento de las estacas son la relación Carbono: Nitrógeno (C:N), el contenido o la redistribución de carbohidratos antes y después del corte, la posición en el árbol, la incidencia de la luz sobre las ramas de origen, el momento del corte (Macdonald, 1990), la producción de reguladores vegetales y co-factores que promueven el enraizamiento, la presencia de inhibidores del enraizamiento (Leakey, 1985).

b1) Longitud de la estaca

Tradicionalmente se ha dicho que estacas con dos yemas enraizan mejor que con una sola yema; sin embargo, para Leakey y Mohammed (1985), la razón no radica en el número de yemas, sino simplemente que una estaca con dos yemas es más larga que con una sola.

En *Triplochiton scleroxylon*, la longitud de la estaca fue más importante que el efecto debido a la posición de la estaca en la rama. Un aumento en la longitud de entrenudos estimuló el enraizamiento de las estacas con una sola yema. La correlación entre la longitud y el porcentaje

de enraizamiento fue mejor cuando la distancia entre las yemas de origen aumentaba de la base al ápice (dirección acrópeta) que cuando la distancia aumentaba del ápice a la base (dirección basípeta). Sin embargo, aislando los efectos de ambas variables en el enraizamiento de estacas, se observó que la longitud era más determinante que la posición de origen, descartando la estaca más apical por sus altos contenidos de agua (Leakey y Mohammed, 1985).

En varios estudios el enraizamiento se ha asociado con la redistribución de carbohidratos dentro de las estacas, aunque se ha discutido mucho sobre las interacciones existentes entre los carbohidratos, el nitrógeno y los procesos metabólicos que controlan el enraizamiento. En estacas de *Triplochiton scleroxylon*, por ejemplo, no se encontraron relaciones entre la capacidad de enraizamiento de las estacas y el contenido de inicial de carbohidratos, antes del corte, sugiriendo que la capacidad de enraizamiento dependió más de los carbohidratos formados y utilizados después del corte (Leakey y Coutts, 1989).

Por muchos años se dio por aceptada la teoría de que altas razones de C:N aumenta la formación de raíces adventicias, pero esto es relativo, porque se requiere la traslocación o el metabolismo de un nivel mínimo de carbohidratos y aminoácidos que intervienen en el enraizamiento, todo esto regulado por carbohidratos fosforilados. Si el contenido de nitrógeno es bajo, el CO₂ fijado no puede formar compuestos orgánicos, tendiendo más bien a la acumulación de almidones (Veierskov, 1988). Al contrario de esta teoría, las plantas madres de *T. scleroxylon* con una relación de C:N baja enraizaron mejor (Leakey, 1983).

El contenido de N en las hojas de *H. appendiculatus* es mucho mayor en el ápice que en la base de la rama, pero no está relacionado con la incidencia de la luz sobre el árbol (Traw y Ackerly 1995), sino al parecer existe un patrón ontogenético involucrado (Ackerly, 1996). Williams-Linera (1983) encontró que el N representa aproximadamente 3% de la biomasa de las hojas del burío, con un máximo de 5% y un mínimo de 1,6%. Estos valores se consideran altos teniendo en cuenta que valores por encima de 2% son excelentes para plantas no leguminosas²². Este alto contenido de nitrógeno puede dificultar el enraizamiento del burío, similar a lo que ocurre cuando se le aplica nitrógeno a las estacas, que produce muchos cambios bioquímicos y fisiológicos porque el N estimula el crecimiento vegetativo (Veierskov, 1988).

En un ensayo pequeño, realizado por el Sr. Carlos Castro²³ en el vivero del CATIE, obtuvo un porcentaje de enraizamiento del 80%, en estacas apicales y subapicales de burío (*H. appendiculatus*) de 30 cm de altura, aplicando AIB al 0.3% en talco, 12 días después de la siembra, en sustrato de arena, con sombra de sarán sobre el propagador y una capa de sarán a

²² Dr. Donald Kass. comunicación personal

²³ Carlos Castro. encargado del Vivero Forestal del CATIE, julio de 2002

2 m de altura que filtra el 55% de la luz, durante la primera semana, y luego solamente la capa de sarán a 2 m de altura

b2) Posición de las estacas en las ramas

En algunas especies la posición de la yema en la rama es relevante para el enraizamiento, como en el caso de estacas sucesivas de *Cordia alliodora*, pero los resultados no fueron consistentes con los diámetros y longitudes de las estacas manejadas, por lo que los autores concluyeron que se debe a los contenidos naturales de reguladores de crecimiento y cofactores de enraizamiento (Mesén *et al.*, 1997 a).

En un experimento preliminar con el burío se observó que el enraizamiento de las estacas apicales fue mejor que el enraizamiento de las estacas basales, en ambos casos con hoja

b3) Área Foliar

La hoja es la estructura de la planta más apta para realizar la fotosíntesis, proveyendo así de carbohidratos para la formación de nuevas estructuras, que es crítico en la propagación por estacas. Además, en las yemas apicales y en las hojas jóvenes se producen las auxinas, como el ácido indolacético (AIA) y luego son translocadas a otros lugares.

Es importante mantener un potencial hídrico de las hojas relativamente alto en las hojas y así disminuir la actividad oxidasa en la fotosíntesis (producción de peróxido de hidrógeno, que es tóxico para las plantas) e incrementar la actividad de las auxinas producidas naturalmente (Loach, 1977). Si se retiene la hoja en una estaca, la fotosíntesis puede continuar, pero el costo de fotosintetizar es transpirar. La respuesta de la planta es el cierre de estomas, limitando la adquisición de CO₂ para realizar la fotosíntesis. La pérdida de agua reduce el potencial hídrico de la estaca, pero al parecer después de varios días en el propagador las estacas desarrollan una resistencia a la absorción de agua, al parecer no relacionada con la formación de callo o la cavitación (embolias) en los tejidos vasculares (Leakey, 1985).

El área foliar requerida está correlacionada negativamente con la longitud de las estacas. La longitud de la estaca tiene más importancia en estacas con áreas foliares pequeñas, que en estacas con áreas foliares grandes (*Triplochiton scleroxylon*, Leakey y Coutts, 1989). En *Cordia alliodora*, el área foliar estuvo correlacionada también con el grado de iluminación que recibieron las estacas, pero las variables área foliar y luz, independientemente, no tuvieron ningún efecto sobre el enraizamiento. En los propagadores sombreados, el enraizamiento de las estacas con mayor área foliar fue mejor, pero en los propagadores no sombreados el enraizamiento fue mejor con áreas foliares pequeñas (Mesén, 1997b).

En estacas con hojas de *T. scleroxylon*, el contenido de carbohidratos se duplicó en nueve días, mientras que en estacas sin hojas las reservas de carbohidratos se agotaron durante el mismo periodo (Leakey, 1985). La presencia de la hoja es importante en las estacas de burío. En un

ensayo preliminar, con baja replicación estadística, se observó que ninguna de las estacas sin hojas enraizó en un periodo de dos meses

b4) Presencia de mucílagos

No se encontraron referencias específicas de especies de difícil enraizamiento relacionadas con la producción de mucílagos, aunque entre estas especies figuran varias especies del orden de las malvales. Muchas especies del orden de las Malvales producen mucílagos (Maas y Westra, 1998). En este orden se encuentran las familia Tiliáceas (al cual pertenece el burío), Bombacáceas, Esterculiáceas, Malváceas, Bixáceas. Los mucílagos son carbohidratos poliméricos solubles que incrementan la presión osmótica en las células de la savia (Kramer y Kozłowski, 1979) Su función no es bien conocida, pero se menciona que el mucílago ayuda al almacenamiento de agua, facilita la dispersión y germinación de las semillas, sirve como cicatrizante de heridas en el tronco y raíces de los árboles y como reserva alimenticia.

El mucílago hace parte de la pared celular y también es segregado por pelos, bolsas y conductos; sin embargo, no son exudados como las gomas. A veces están asociados con los taninos (La Rotta, 1988). La estructura química de las gomas y los mucílagos es semejante a los compuestos pécticos y a las hemicelulosas. Su cadena principal está compuesta por azúcares como la manosa, entre otras (Rehm y Espig, 1991). En las plantas madres de algunas especies la manosa aplicada como fuente de carbohidratos inhibe la actividad de algunas enzimas relacionadas con la formación de raíces (Haissig, 1986) y podrían ocasionar la cavitación de elementos del xilema (Loach, 1977).

b5) Precondición de la estaca

Existen diferencias en el enraizamiento de estacas dependiendo del estado de madurez en los tejidos, el estado nutricional de la planta madre, los ciclos de producción de hormonas naturales, el estado de desarrollo del cambium y del tejido vascular de donde se toma la estaca, etc. En *Cordia alliodora*, Mesén *et al.* (1997) encontraron que son más importante los factores hormonales que el estado nutricional de la planta madre. La aplicación de fertilizantes a las plantas madres redujo el enraizamiento en estacas de una yema provenientes de seis posiciones sucesivas en el tallo, independientemente de las condiciones de luz.

En general, la presencia de flores disminuye la habilidad de enraizamiento (Leakey, 1985). Las estacas originadas del tallo principal enraízan menos que las estacas provenientes de ramas laterales, pero en algunos casos el comportamiento plagiotrópico de estas estacas continúa, lo que conlleva una característica indeseable para la propagación de estas estacas (Mesén, 1998)

c) Factores ambientales

El ambiente en que se desarrollan las plantas madres y las estacas tiene mucha influencia en el éxito o fracaso del establecimiento de una nueva planta. La atención al medio ambiente que

rodea a las plantas madres se ha centrado en especies hortícolas. Los factores ambientales que más afectan el enraizamiento de algunas especies propagadas por estaca, relacionados con la planta madre son la temperatura, la radiación solar, los nutrientes, el balance hídrico, el estado nutricional de las plantas madres (Andersen, 1986). La variación entre plantas madres de la regeneración natural, es obviamente muy alta.

c1) Medio de enraizamiento

La función más importante del medio de enraizamiento es dar soporte a las estacas, aunque teóricamente no es necesario, pues una estaca suspendida en una atmósfera con alta humedad puede producir raíces. El agua o las soluciones hidropónicas son utilizadas como medios de propagación, aunque generalmente las raíces producidas carecen de pelos absorbentes (Andersen, 1986). El factor más importante asociado con el medio de enraizamiento es la aireación. Un medio poco aireado tiende a producir formaciones callosas que emergen de las lenticelas en la parte inferior del tallo.

En cacao se ha encontrado buen enraizamiento con medios de origen orgánico (cascarilla de arroz o de café, aserrín fresco y descompuesto), pero la tendencia es a preferir medios inertes que con el tiempo no pierdan fácilmente la estructura y sean fáciles de conseguir, como la arena (Erickson, 1957)

En *C. alliodora* se encontró que las estacas enraizadas en grava y arena, tenían porcentajes de enraizamiento superiores al encontrado en aserrín. El número de raíces y la sobrevivencia mostraron la misma tendencia en los tres medios. La razón de estos resultados se atribuyó a que la arena y la grava son sustratos más aireados; las pocas raíces desarrolladas en aserrín se tomó como un síntoma de anoxia en las estacas (Mesén *et al.*, 1997a).

c2) Humedad ambiental

Una condición indispensable para asegurar el enraizamiento es mantener el potencial hídrico alto en las hojas, que impida la transpiración y mantenga la turgencia de las hojas. Para asegurar estas condiciones existen cuatro alternativas: a) utilizar sombra, b) encerrar las estacas en invernaderos plásticos, como los propagadores de sub-irrigación c) nebulizar las estacas para reducir la temperatura de las hojas y d) aplicar anti-transpirantes. La combinación de los propagadores de sub-irrigación cubiertos con un material que disminuya parcialmente la luz, es una alternativa poco costosa y con materiales fáciles de conseguir en nuestro medio. En propagadores de sub-irrigación, el polietileno blanco es preferido al polietileno transparente pues reduce mucho más la temperatura de la hoja (Loach, 1977).

c3) Luz

La influencia de la luz sobre el enraizamiento se ha investigado en las plantas madres o plantas de donde provienen las estacas y en las estacas propiamente dicho

Los efectos de la luz y el contenido de almidones en plantas madres de *T. scleroxylon* interactúan. El porcentaje de enraizamiento se mejora cuando las plantas madres crecen bajo poca irradiación solar, al parecer porque bajo estas condiciones el contenido de almidones es bajo (Leakey, 1985). En general, las hojas de sombra tienen bajo contenido de almidones, la respiración se reduce, pero la fotosíntesis y el crecimiento son más lentos (Salisbury y Ross, 1994).

En el caso del burío, no se seleccionaron los árboles de acuerdo con la posición de luz, pues se encontró que, aún las hojas de plantas que crecen en el sotobosque, continúan teniendo un comportamiento de hojas de sol (Küppers *et al.*, 1996), por lo cual se piensa que la posición de la copa de la planta madre no es un factor importante para el enraizamiento de las estacas de burío.

El enraizamiento de las estacas con radiación solar por debajo del nivel óptimo está limitado por la carencia de carbohidratos y suministro de auxinas a la base de la estaca. Por encima del óptimo, es posible que exista demasiada concentración de carbohidratos, fotodestrucción de las auxinas, cambios en las relaciones de agua y concentración de sustancias promotoras o inhibitoras del crecimiento (Hartmann y Kester, 1972).

El porcentaje de enraizamiento de estacas de *Cordia alliodora*, una especie heliófita durable, no se vio afectado por dos condiciones de luz con radiaciones máximas de 236 y 80 $\mu\text{ moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; sin embargo, el número de raíces se redujo notablemente en el tratamiento de mayor exposición solar. El hecho de no obtener diferencias entre las dos condiciones de luz fue atribuido al comportamiento parabólico del enraizamiento como efecto de la cantidad de luz, donde las diferencias de irradiación podrían haber estado por encima y por debajo del punto óptimo de radiación, obteniendo porcentajes de enraizamiento similares (Mesén, 1993).

Cuando se utilizan propagadores de sub-irrigación es necesario el sombreado para permitir mayor condensación del agua, máximo humedad de las hojas y disminuir la temperatura ambiental (Grange y Loach, 1983). En árboles deciduos y coníferas de la zona templada y tropical, se ha encontrado que el enraizamiento se acelera en niveles de luz muy por debajo del punto de saturación lumínica (Leakey, 1985). El punto de saturación lumínica para plántulas de burío se presentó a 500 $\mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RAFA), cuando a pleno sol se alcanza hasta 2000 $\mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de RAFA (Fetcher *et al.*, 1987). Grange y Loach (1983) recomiendan radiaciones cercanas a los 400 $\mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de RAFA, pero es conveniente ensayar valores menores, ya que Ackerly y Bazzaz (1995b) observaron que las copas del burío se orientan preferiblemente hacia la radiación difusa, más bien que hacia la radiación directa.

En otro estudio la interacción entre iluminación y área foliar en estacas de *Cordia alliodora* produjo diferencias en el enraizamiento: con poca iluminación son mejor áreas foliares grandes,

pero con alta iluminación son mejor estacas con áreas foliares pequeñas (Mesén, 1997). En *T. scleroxylon* la luz y el área foliar de las estacas parecen ser variables altamente correlacionadas en cuanto a su efecto sobre el número de raíces, pues con poca área foliar, el número de raíces fue bajo (Leakey y Coutts, 1989).

c4) Temperatura

En especies no maderables, la temperatura óptima del medio de enraizamiento es similar a la temperatura donde se desarrollaron las plantas madres (Andersen, 1986).

c5) Aplicación de hormonas

La aplicación de reguladores de crecimiento es frecuentemente utilizada para acortar el periodo de enraizamiento, para incrementar los porcentajes de enraizamiento, el número y la calidad de las raíces y para promover la uniformidad del enraizamiento (Macdonald, 1986). Las auxinas mejoran el transporte y la producción de la sacarosa de las hojas, que es uno de los factores que más ayudan al enraizamiento, por ser una fuente de carbono (Jarvis, 1986).

La concentración óptima de estos reguladores es muy diferente para cada especie, incluso entre clones (Leakey, Chapman y Longman, 1982). Puede variar dependiendo de la época del año en que se aplica (Hartmann y Kester, 1972). En especies de difícil enraizamiento el tratamiento con auxinas promueve la división celular, pero no la iniciación de raíces de estacas provenientes de plantas maduras (Hackett, 1988)

El éxito del enraizamiento depende del método de aplicación de la hormona. Los ensayos realizados en el CATIE recomiendan una inmersión rápida (*quick dip*) de la estaca en la hormona usando metanol puro (Mesén, 1998). Otros autores recomiendan el uso de alcoholes diluidos máximo al 50% para no causar daños en el tejido basal. Sin embargo, existe el problema de que los ácidos no se disuelvan. Las soluciones deben ser ajustadas para cada especie, dependiendo del grado de lignificación de la estaca y la duración de la inmersión no debe ser prolongada (Blazich, 1988).

Desde 1935, se probó que el ácido indolbutírico (AIB), un compuesto químico sintético, y otros ácidos tenían el mismo efecto que el ácido indolacético (AIA), producido por las plantas (Thimann, 1935²⁴; Zimmerman y Wilcoxon, 1935²⁵ citados por Hartmann y Kester, 1972). Cuando la hormona se aplica por medios artificiales, tales como remojando la base de la estaca, se produce una traslocación masiva hacia arriba, principalmente por el xilema. Hoy en día se tienen evidencias de que el AIB también es producido en plantas de arveja (Schneider *et al.*, 1985) y maíz (Epstein *et al.*, 1989).

²⁴ Thimann, KV 1935 On an analysis of activity of two growth-promoting substances on plant tissues *Proc Kon Akad Wetensch Amsterdam* No. 38:896-912

²⁵ Zimmermann, PW; Wilcoxon, F 1935 Several chemical growth substances which cause initiation of roots and other responses in plants *Contrib Boyce Thomp Inst* No 7:209-229

La aplicación de AIB mejoró el enraizamiento de las estacas apicales, en dos condiciones de luz, pero no mejoró el enraizamiento de las estacas basales. Las estacas de ambas posiciones, sin hormona, aunque tuvieron un menor enraizamiento, se vieron favorecidas en un ambiente más iluminado.

c6) Fertilización

Es una práctica común aplicar fertilizante a las plantas madres en pequeñas dosis. Sin embargo, con *A. guachapele*, el porcentaje de enraizamiento se redujo en las estacas provenientes de plantas fertilizadas (Mesén, 2001).

Durante el enraizamiento, los requerimientos nutricionales de las estacas son bajos, al menos en plantas no leñosas. Los elementos mínimos para enraizar son el calcio, nitrógeno, fósforo y probablemente potasio. Se dice que debe existir un balance entre el calcio y el magnesio. El calcio estimula la división celular; si no está presente es reemplazado por el magnesio y no se produce el enraizamiento (Andersen, 1986).

2.4.2.5 Propagadores de sub-irrigación

La propagación por estacas requiere de un conocimiento bien detallado de la anatomía, ecología y fisiología de la especie que pueden afectar el enraizamiento de una especie dada. Cuando se trata de la producción masiva de una especie, el control de todos los factores ambientales es fundamental. Por los costos de la mano de obra se han ideado muchos sistemas sofisticados que permiten disminuir los costos para producir un material con la calidad y la cantidad que se espera. Sin embargo muchos de estos sistemas no están al alcance de la mayoría de los países en desarrollo, por lo que es necesario utilizar alternativas más asequibles al medio ambiental y económico que nos rodea. Los propagadores de sub-irrigación son un sistema sencillo y efectivo para tratar de remediar estos obstáculos.

Los propagadores de sub-irrigación son una tecnología apropiada para la propagación vegetativa en las condiciones del trópico y de bajo costo. Ha sido una tecnología desarrollada por Howland, modificada por Leakey y Longman y validada en el CATIE, con bastante éxito para la mayoría de las especies. (Leakey *et al*, 1990; Mesén, 1998).

El Anexo 2 muestra el propagador, que es un invernadero en miniatura apropiado para las condiciones del trópico, que consiste en una estructura de madera envuelta con plástico de calibre grueso, soportada directamente sobre el suelo o un relleno de aserrín para nivelarlo, con un techo de media agua también forrado en plástico, dividido en dos cuerpos y unidos con bisagras. Una de las tapas tiene una solapa de plástico que se traslapa con la otra, para evitar el salpique de las gotas de agua dentro del propagador y la salida de vapor. Su costo es relativamente bajo.

2.4.3 Acodos aéreos

El acodado es una práctica de propagación muy antigua desarrollada en la China hace unos 5000 años (Macdonald, 1986).

Los principios que determinan la formación de raíces en los acodos son la interrupción del transporte de materiales elaborados principalmente en las hojas (carbohidratos, auxinas y otros factores de crecimiento), que viajan por el floema y se acumulan en la parte superior del corte, aunque la rama continua recibiendo agua, minerales y nutrientes por el xilema (Hartmann y Kester, 1972; Leakey, 1985). El otro principio está relacionado con la exclusión de la luz, que se ha tratado de explicar como una forma de obligar a la planta para que disminuya la cantidad de carbohidratos destinados a la formación de la pared celular y los destine para incrementar el número de células del parénquima en el área tratada de la rama, que promuevan el enraizamiento (Macdonald, 1986)

Las condiciones que aseguran el enraizamiento de un acodo son básicamente las mismas que requiere una estaca, con la diferencia que se espera no necesitar más que un suministro inicial de agua, sin excesos.

Las plantas madres deben estar protegidas de vientos fuertes. En plantas herbáceas se usan árboles caducifolios para este fin. El sustrato debe proveer de humedad al acodo y mantenerse húmedo durante el enraizamiento (Macdonald, 1986)

El acodo se hace en ramas parcialmente endurecidas. En la zona tropical el acodo se debe hacer durante el periodo de crecimiento del árbol, cuando se han desarrollado varias hojas. El primer paso consiste en anillar la rama a una distancia entre 15 y 30 cm del ápice. El anillo se hace de 1.5 a 2.5 cm de ancho (Hartmann y Kester, 1972). A veces es aconsejable raspar la superficie expuesta, para asegurarse que se ha removido el cambium, retardando así la cicatrización. Para promover la acumulación de carbohidratos y hormonas endógenas es aconsejable aplicar una auxina en el anillo (Leakey, 1985). En el cacao se prefiere hacer un anillo de más de 4 cm, para evitar que el callo producido cicatrice la herida y aplicar AIB en una base de talco (Guerra, 1951).

El sustrato que más se utiliza es el musgo y para sostenerlo se emplea con frecuencia el plástico. Además, debe estar ligeramente humedecido; un exceso de humedad puede causar la pudrición. El plástico es un material que sirve para asegurar una humedad continua impidiendo la salida de vapor de agua, es permeable a los gases (CO_2 y O_2), es durable y permite observar el desarrollo de raíces en su interior, sin perturbarlas. (Hartmann y Kester, 1972). Para el cacao el musgo fue mejor sustrato que el aserrín por conservar por más tiempo la humedad, dejando espacios para el aire (Guerra, 1951). El tiempo que tarda un acodo de cacao en enraizar es de 7 a 8 semanas (Cerdas, 1977)

Generalmente, se emplea un pedazo de plástico de 20 a 25 cm por lado, teniendo cuidado de envolver el acodo completamente. Los lados del plástico deben doblarse de forma que el doblado quede en la parte inferior de la rama, para que el agua de lluvia no penetre. El amarre superior y el extremo a lo largo de la rama deben quedar bien aislados del agua, utilizando para esto una cinta adhesiva. Es deseable remover el acodo enraizado cuando la planta no está en crecimiento activo; este periodo es muy crítico y la nueva planta puede perderse, aunque haya enraizado bien (Hartmann y Kester, 1972). La razón para que esto ocurra es la alta relación de copa a raíz. Esto se corrige realizando una poda severa al momento del corte o colocando los acodos bajo niebla, las primeras semanas, para continuar con un periodo gradual de endurecimiento. La formación de raíces necesita de una humedad continua, buena aireación y temperatura moderadas.

El acodado es una práctica que se acomoda mejor para el horticultor aficionado o para fines culturales o científicos, pero no para propósitos comerciales. No es muy apropiada cuando se busca la propagación masiva de una especie leñosa, por los costos de la mano de obra para el cuidado de los acodos. Esta técnica puede llegar a ser apropiada en sitios con alta humedad relativa, pues los mayores costos se concentran en mantener bien húmedo el medio de enraizamiento.

El burío posee una baja gravedad específica de su madera, entre 0.1 y 0.3 g/cm³. La madera más cercana de la corteza tiene entre 19 y 34% de parénquima axial y rayos de parénquima (McDonald *et al.*, 1995). Estos tejidos fácilmente se desdiferencian y pueden formar raíces o cicatrizar heridas (Flores-Vindas, 1999)

3. Materiales y métodos

3.1. La zona de estudio

Para los ensayos de germinación con semillas se localizaron cuatro sitios. Dos experimentos con semillas se hicieron con los lotes de los cuatro sitios y dos experimentos con una sola fuente. Los lugares fueron escogidos considerando que cubren el rango altitudinal de su distribución natural y la cercanía al CATIE. Para la propagación vegetativa se eligió un solo lugar por experimento, localizado en el CATIE o sus alrededores. Los registros de las estaciones meteorológicas más cercanas se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Localización de las fuentes semilleras de *H. appendiculatus* y estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios.

Localización	Fuentes de semillas			
	La Puente, Santiago de Paraiso, Cartago	San Martín, Platanillo, Turrialba	Turrialba	Veintiocho Millas, Matina
Coordenadas Fuente Identificada	9° 53' latitud N 83° 49' longitud W	9° 47' latitud N 83° 36' longitud W	9° 53' latitud N 83° 38' longitud W	10° 06' latitud N 83° 23' longitud W
Altitud (msnm)	1450	1100	600	50
Estación cercana	Los Naranjos	Sitio Mata	CATIE	La Lola
Distrito	Dulce Nombre	Atirro		Veintiocho Millas
Tipo de estación	C	C	A	A
Coordenadas Estación Meteorológica	9° 50' latitud N 83° 52' longitud W	9° 53' latitud N 83° 37' longitud W	9° 53' latitud N 83° 38' longitud W	10° 06' latitud N 83° 23' longitud W
Altitud (msnm)	1380	900	600	40
Temperatura media ⁽¹⁾	19.5 ⁽¹⁾	21.9 ⁽²⁾	21.8	24.9
Precipitación anual	1870 ⁽³⁾	2880 ⁽³⁾	2670	3530
Brillo solar (horas) ⁽⁴⁾	---	---	4.5 ⁽⁴⁾	133 ⁽⁵⁾
Radiación solar ⁽⁵⁾ (Mj m ²)	---	---	16.9	17.4

Fuentes: (1) Instituto de Meteorología, 1979. Estación Paraiso. (2) Instituto de Meteorología, 1979. Estación Platanillo. (3) Instituto de Meteorología, 2001. Estaciones indicadas. (4) promedio diario multianual, (5) promedio mensual multianual.

Los árboles seleccionados para la recolección de semillas están ubicados en La Puente (o la Fuente), cantón de Cartago, a lo largo de la quebrada La Puente, en la intersección con la carretera de Turrialba a San José; Platanillo (Tayutic), en el sitio San Martín, en un radio aproximado de 2 km alrededor del área de captación sobre el río Tuis; en el CATIE, cantón de Turrialba y cerca a la Estación Experimental La Lola en el sitio de Veintiocho Millas del cantón de Matina (Ver Figura 4). Los árboles juveniles utilizados para la propagación vegetativa se

localizaron cerca al CATIE en el río Reventazón, Atirro, San Juan Norte y en el sector de Ganadería, la finca de Cabiria y el Campus. Sus ubicaciones no aparecen en el mapa.

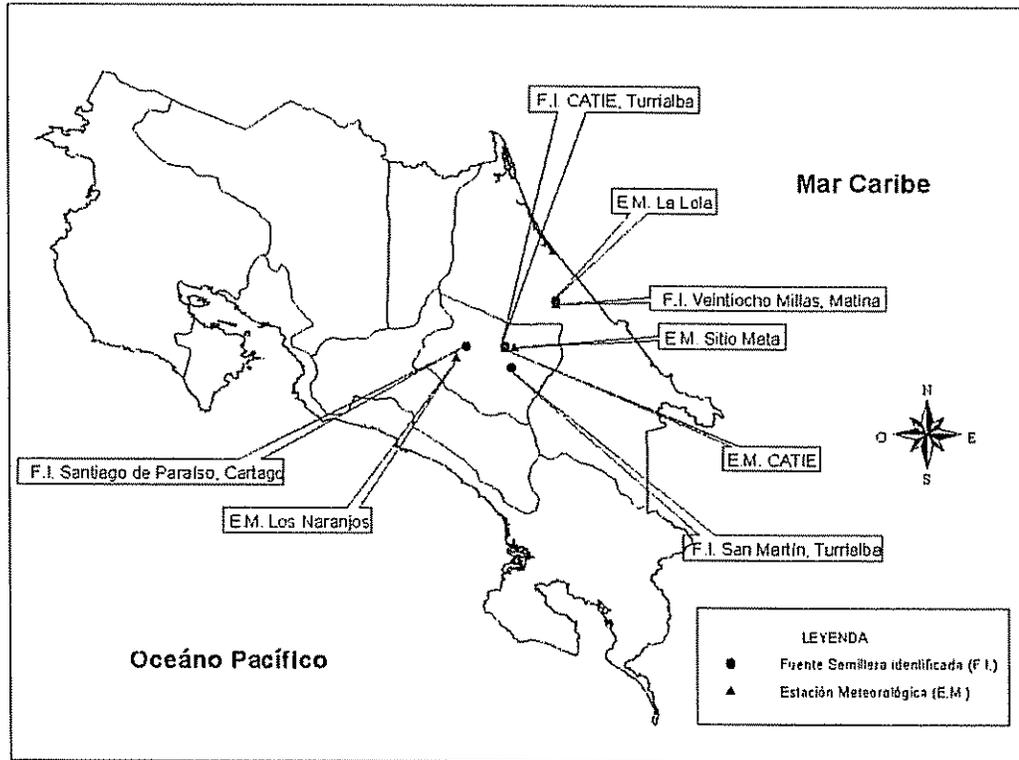


Figura 4. Mapa con la ubicación de las fuentes semilleras identificadas y estaciones meteorológicas cercanas.

Se hicieron las anotaciones fenológicas durante los seguimientos y en el momento de recolectar las semillas y las ramas o cuando se hicieron los acodos. El método utilizado fue el de Fournier (1974), en el cual se evalúa floración en botón (Bot), floración (Fl), frutos verdes (FV), frutos maduros (FM), rebrote de hojas (B) y caída de hojas (C). La magnitud del evento se evaluó con una escala de 0 a 4 que en este caso representa el área de superficie de copa, como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Registro de los datos fenológicos: escala de Fournier (1974).

Escala	Significado
0	Ausencia del evento observado
1	Presencia del evento observado con magnitud entre 1 y 25 %
2	Presencia del evento observado con magnitud entre 26 y 50 %
3	Presencia del evento observado con magnitud entre 51 y 75 %
4	Presencia del evento observado con magnitud entre 76 y 100 %

3.2 Propagación por semilla

Para las semillas se realizaron cuatro experimentos: tres en el Banco Latinoamericano de Semillas Forestales y uno en el Vivero Forestal del CATIE, según el esquema que se presenta en la Figura 5. Además se hizo una estimación de la cosecha por árbol, porque se consideró un dato importante para este estudio

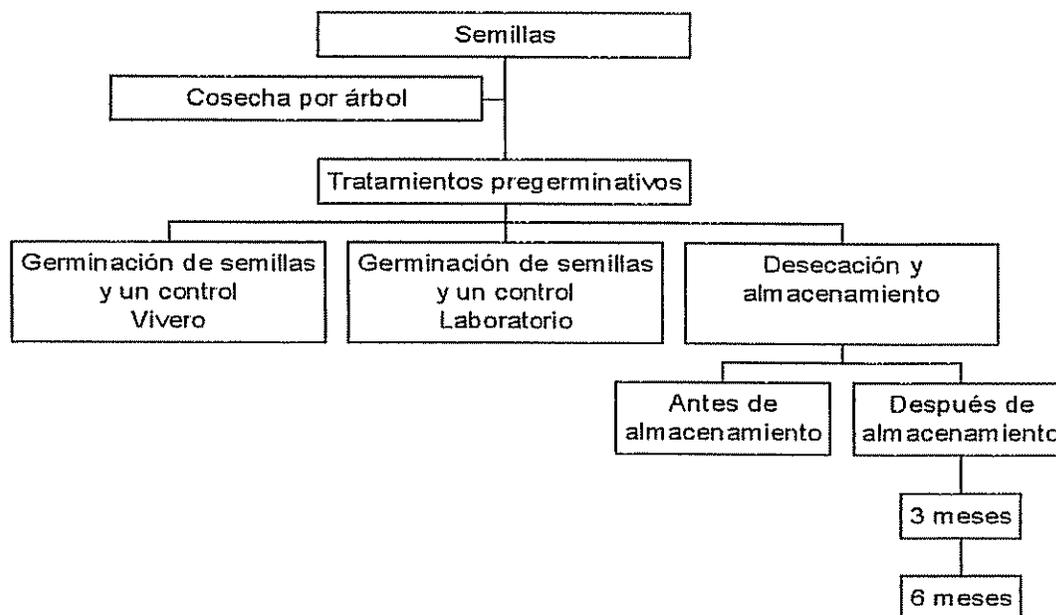


Figura 5 Diagrama de flujo de los experimentos realizados con semillas de burío (*H. appendiculatus*). Turrialba, CATIE, 2002.

La floración ocurre de forma escalonada en el espacio y el tiempo, comenzando a los 1450 y 1100 msnm en septiembre de 2001 y desplazándose a los 600 m en diciembre de 2001. No se hizo seguimiento a la floración de los árboles cerca del nivel del mar, pero por información de los vecinos del lugar se estima que empezó en diciembre de 2001. Las flores se encontraron visitadas por abejas, que podrían proveerse del néctar del burío en este rango altitudinal durante más de cuatro meses. La fructificación dentro del mismo árbol no ocurre masivamente; en una misma panícula se observan frutos con diferente grado de madurez. Los frutos permanecen en el árbol de tres a cuatro meses, dependiendo de la velocidad de los vientos en cada sitio.

En el laboratorio se tomaron al azar 5 g de frutos por árbol y se mezclaron para los análisis de contenido de humedad inicial, pureza y número de semillas por kilogramo en cada fuente semillera. Después de secar los frutos al aire libre, los lotes fueron formados mezclando por pesos iguales de frutos de los árboles en cada sitio (Kemp, 1979). La mezcla se empacó en polietileno transparente de baja densidad, calibre 2 y se almacenó en la cámara de 15° C,

dentro de cajas blancas de plástico. Se procuró obtener 10 árboles en cada sitio, pero se descartaron aquellos árboles de baja cosecha, para obtener un lote de aproximadamente 250 g por sitio, al momento del almacenamiento.

3.2.1 Selección del mejor tratamiento pre-germinativo

3.2.1.1 Lote de semillas

Para este ensayo se utilizó el primer lote de semillas recolectadas en Santiago de Paraiso. Se anotaron los datos fenológicos de los ocho árboles donantes y las medidas de diámetro, altura total y espesor de corteza, marcando con pintura amarilla el número del árbol y la circunferencia donde se midió el diámetro. Se anotó también el uso del suelo, la vegetación acompañante y la topografía del lugar (Cuadro 4). Las semillas recolectadas de ocho árboles no fueron separadas por estado de madurez. Los árboles no perdieron su follaje y la producción de hojas fue continua (Frankie *et al.*, 1974), excepto el árbol 6. Siguiendo las normas de la ISTA (1996)²⁶, se calculó 195,700 frutos puros/kg y 191,780 frutos/kg con 2% de impurezas, a un contenido de humedad del 15.4%. La germinación inicial del lote (contenido de humedad de 13.1%) fue de 5.3% para semillas sin extraer y 55.3% para semillas extraídas.

Cuadro 4. Estado fenológicos de los árboles de burío al momento de la cosecha del lote 1. La Puente, Santiago de Paraiso, Cartago, noviembre 19 de 2001.

Evento observado	Árbol										Promedio*	Presencia del evento (% de superficie de copa)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Rebrote de hojas	0	1	1	0	1	1	1		4		1.1	25-50 %
Caída de hojas	0	0	0	0	0	2	0		0		0.3	0-25 %
Botones florales	0	0	0	0	0	0	0		0		0.0	Ausentes
Flores	0	0	0	0	0	0	0		0		0.0	Ausentes
Frutos verdes	4	3	4	1	1	1	1		1		2.0	25-50 %
Frutos maduros	1	2	0	3	3	2	4		0		1.9	25-50 %

Según la escala de Fournier, 1974
Diámetros y alturas en el Anexo 4.1

3.2.1.2 Diseño experimental y preparación

Para la evaluación del experimento se utilizó un diseño irrestricto al azar con dos repeticiones y dos muestras:

$$y_{ijk} = \mu + \text{Trat}_i + e_{i(j)} + \text{Caja}(\text{trat})_{j(i)k}$$

Donde,

μ es la media poblacional (porcentaje de germinación esperado), Trat_i es el tratamiento pre-germinativo aplicado ($i = 1, 2, \dots, 10$); $e_{i(j)}$ es el error de muestreo; $\text{Caja}(\text{trat})_{j(i)k}$ es el error

²⁶ International Seed Testing Association

experimental, con $k= 1,2$; cajas; y_i es el porcentaje de germinación (variable respuesta) observada en la caja k de la muestra j en el tratamiento i

Se validaron nueve tratamientos pre-germinativos utilizados en el Banco de Semillas Forestales (BSF) del CATIE (Vásquez y González, 1997) y el método de extracción empleado por Hernández (1989) en *H. popayanensis*:

1. Cápsulas sin pre-tratamiento (control),
2. Cápsulas escarificadas con lija,
3. Cápsulas en agua a temperatura ambiente 1 hora ,
4. Cápsulas en agua a temperatura ambiente 12 horas ,
5. Cápsulas en agua a temperatura ambiente 24 horas ,
6. Cápsulas en agua caliente 10 segundos ,
7. Cápsulas en agua caliente 20 segundos ,
8. Cápsulas en agua caliente 30 segundos,
9. Semillas extraídas en húmedo con licuadora (Hernández, 1989),
10. Cápsulas escarificadas en húmedo, que no alcanzan a extraer la semilla después de mezclar en la licuadora.

Los tratamientos pre-germinativos en húmedo se metieron en una bolsa pequeña de tela, se sumergieron con un peso encima. Las cápsulas escarificadas se rozaron entre dos hojas de lija, hasta en el exocarpo algunas semillas lograron salir de la cápsula. El tratamiento de extracción de semillas se hizo en una licuadora doméstica. Para hacerlo se mezclaron 8 g de frutos en un vaso de licuadora de 8 oz, con 200 ml de agua corriente durante 8 segundos a máxima velocidad (Hernández, 1989). Posteriormente las cápsulas tratadas fueron secadas al aire libre y protegidas de la lluvia durante dos días. Las cápsulas que continuaban completas fueron conservadas para el último tratamiento pregerminativo.

Se colocaron dos muestras de 100 semillas por caja, en hojas de papel filtro y fueron ubicadas al azar dentro de la cámara de 30° C y luz las 24 horas. Los tratamientos fueron rociados con un frasco lavador, cuando fue necesario. La siembra se hizo entre el 7 y el 12 de enero en el laboratorio del BSF del CATIE. Los recuentos de germinación se hicieron diariamente durante los 17 días del ensayo.

3.2.1.3 Variables de respuesta y evaluación

La germinación fue definida por la emisión de más de 2 mm de raíz. Además se calcularon la velocidad de germinación y los índices de vigor de Czabator, Diavanshir & Pourbeik, y Coeficiente de velocidad

La evaluación de las respuestas se hizo utilizando el procedimiento de análisis de varianza, Utilizando el procedimiento de "Proc GLM" del paquete estadístico computacional SAS.

3.2.2 Germinación de semillas de burío en el vivero, provenientes de cuatro fuentes identificadas

3.2.2.1 Lotes de semillas

Este ensayo se hizo con el segundo lote de semillas de Santiago de Paraíso y Platanillo, y los únicos lotes de semillas recolectados en Veintiocho Millas y CATIE. El Cuadro 5 muestra las observaciones fenológicas promedio en el momento de colecta, el peso de cada lote y las fechas de recolección.

La presencia de frutos maduros se definió como se presenta en la Figura 6. En cada uno de los sitios se recolectaron los frutos maduros, 50 g por árbol como mínimo, sacudiendo las ramas dentro de las bolsas plásticas correspondientes a cada árbol.

En el Anexo 4.1 (Cuadros 4.1 a 4.5), se encuentran las medida de los árboles semilleros utilizados en cada sitio. En el Anexo 4.2 se resumen los resultados de contenido de humedad, número de frutos por kilogramo y porcentaje de pureza al momento de la cosecha (Cuadro 4.6) y al momento del almacenamiento (Cuadro 4.7).

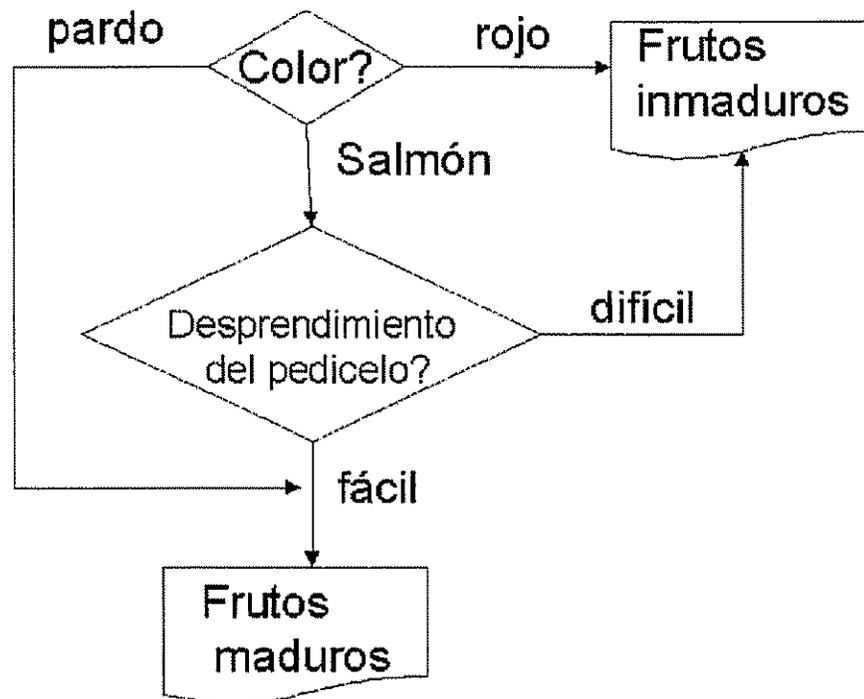


Figura 6. Criterio de madurez de los frutos de *H. appendiculatus* utilizado para su recolección.

Cuadro 5. Observaciones fenológicas en los árboles al momento de la cosecha de frutos, según la metodología de Fournier (1974)

Evento observado (% área de superficie de copa promedio)	Fuente identificada (fecha de recolección: dd/mm/aa)			
	Santiago de Paraiso (14/12/01)	Platanillo (7,10/12/01)	Veintiocho Millas (14,20/02/02)	CATIE (4,5/02/02)
Rebote de hojas	76-100 %	26-50%	76-100 %	76-100 %
Caída de hojas	26-50 %	26-50%	26-50%	< 25%
Botones florales	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Flores	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Frutos verdes	< 25%	51-75 %	26-50%	51-75 %
Frutos maduros	51-75 %	51-75 %	76-100 %	51-75 %
# árboles cosechados	6	9	8	10
CH al momento de cosechar	49.2%	--	46.2% ¹	30.4%
CH al inicio de almacenamiento	13.6%	11.8%	12.6% ²	12.8%
Peso del lote (g)	264	243	768	400 g

¹un solo valor, ² CH (contenido de humedad) 10 min después de exponerse a una corriente de aire acondicionado

Las semillas se extrajeron como se explicó en el ítem 3.2.1.2, excepto que las bandejas con los frutos tratados se secaron en la cámara de 30° C durante 36 horas. Después fueron limpiadas utilizando diferentes tamices de suelo (No. 18, 20 y 30) y soplando para sacar la mayor parte de los residuos de frutos en cada tamiz. Luego se mezclaba la semilla de todos los tamaños en una bandeja de aluminio ligeramente inclinada con leves movimientos circulares para que la semilla rodara hasta la esquina inferior.

3.2.2.2 Diseño experimental y preparación

Se evaluó un diseño de bloques al azar en parcelas divididas. En un primer paso de aleatorización se sorteó la ubicación de los sustratos (parcela grande) y en un segundo paso de aleatorización se sorteó la ubicación de cada fuente de semillas y el tipo de material utilizado de semillas o frutos en cada sustrato (parcela pequeña).

El modelo analizado fue:

$$y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + e_{ij} + F_k + M_l + (FM)_{kl} + (SF)_{jk} + (SM)_{jl} + (SFM)_{jkl} + e_{ijkl}$$

Donde,

μ es la media poblacional (porcentaje de germinación); B_i es el bloque ($i = 1, 2, 3, 4$); S_j es uno de los tres sustratos o parcela grande ($j = \text{arena, tierra y arena+tierra}$); e_{ij} es el efecto cruzado (error de la parcela completa o sustrato j en el bloque i); F_k es una de las cuatro fuentes identificadas ($k = \text{Santiago de Paraiso, Platanillo, Veintiocho Millas y CATIE}$); M_l es el tipo de material utilizado ($l = \text{semilla o fruto completo}$); $(FM)_{kl}$ es la interacción entre la fuente k y el tipo de material utilizado; $(SF)_{jk}$ es la interacción entre el sustrato i y la fuente de semilla k ; $(SM)_{jl}$ es

la interacción entre el sustrato i y el tipo de material l ; $(SFM)_{jkl}$ es la interacción de las tres variables controladas; e_{ijkl} es el error experimental y y_{ijkl} es el porcentaje de germinación observado en la repetición i , sustrato j de la fuente semillero k con el tipo de material l .

Para el experimento se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas o frutos de cuatro fuentes identificadas (6 g / fuente identificada), arena, tierra, sarán y germinadores descubiertos.

El ensayo de germinación se inició el 21 de marzo de 2002 y finalizó 20 de abril de 2002, en el área de germinación bajo techo del vivero Forestal del CATIE en Cabiria. Se hizo un seguimiento de la luz, la humedad y la temperatura ambiental; para registrar la luz la temperatura se utilizaron dos termocuplas (tipo K de cromo y aluminio T.C. Ltd.) y seis sensores de quantum de luz, tipo SKP 215 serial #3764 Skye Instruments Ltd., conectados a un microprocesador 21X (Campbell Scientific Ltd), los cuales registraban lecturas cada 10 segundos y almacenaban estos promedios cada 10 minutos. Las semillas fueron rociadas con agua diariamente a las 7:00 a.m. y 2:00 p.m.

3.2.2.3 Variables respuesta

Se midió el porcentaje de germinación y se calcularon la velocidad de germinación diaria, el valor germinativo de Czabator, valor germinativo de Diavanshir & Pourbeik y el Coeficiente de velocidad. Se definió la germinación como la salida de los cotiledones de la testa, para las semillas y de la cápsula para los frutos completos. Los recuentos se hicieron diariamente hasta el día 21 y después cada tres días hasta el día 30.

La evaluación de las respuestas se hizo utilizando el procedimiento de análisis de varianza, utilizando el procedimiento de "Proc GLM" del paquete estadístico computacional SAS.

3.2.3 Germinación de semillas de burío en el laboratorio, provenientes de cuatro fuentes identificadas.

Los lotes de semillas utilizados son los mismos que se emplearon en el experimento de germinación de semillas en el vivero. Ver ítem 3.2.2.1 y Anexo 4.

3.2.3.1 Diseño experimental y preparación

Para el ensayo de germinación se utilizó un Diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial, sembrando semillas o un tratamiento control de cuatro fuentes identificadas, cuatro sustratos, tres periodos de luz y tres temperaturas, cada uno con tres repeticiones.

El modelo que se evaluó fue:

$$y_{ijkl} = \mu + R_i + L_j + T_k + F_l + M_m + S_n + L^*T_{jk} + L^*F_{jl} + L^*M_{jm} + L^*S_{jn} + T^*F_{kl} + T^*M_{km} + T^*S_{kn} + F^*M_{lm} + F^*S_{ln} + M^*S_{mn} + L^*T^*F_{jkl} + L^*T^*M_{jkm} + L^*T^*S_{jkn} + L^*F^*M_{jlm} + L^*F^*S_{jln} + L^*M^*S_{jmn} + T^*F^*M_{kdm} + T^*F^*S_{kdn} + T^*M^*S_{kdm} + F^*M^*S_{lmm} + L^*T^*F^*M_{ijklm} + L^*T^*F^*S_{jldn} + L^*F^*M^*S_{jlmn} + T^*F^*M^*S_{klmn} + L^*T^*F^*M^*S_{ijklmn} + e_{ijklm}$$

Donde μ es la media poblacional (% de germinación o vigor de las semillas esperado), R_i es la repetición ($i = 1, 2, 3$), L_j es uno de los tres periodos de luz ($j=0, 12, 24$ horas luz día⁻¹), T_k es una de las tres temperaturas programadas ($k=15, 15/30$ y 30 °C), F_l es una de las cuatro fuentes identificadas, M_m es el tipo de material propagado (semilla o frutos), S_n es uno de los cuatro sustratos utilizados ($m =$ arena, tierra, arena+tierra y papel de filtro). Las combinaciones de estas variables representan las interacciones de primero hasta quinto orden; e_{ijklm} es el error experimental y y_{ijklm} es el porcentaje de germinación de las semillas observado de la repetición i , con luz j , de la fuente identificada l , en el sustrato m .

Se utilizaron cuatro cámaras: dos cámaras de germinación tipo GRAM, la cámara de 30° C y la cámara de almacenamiento de 15° C, del Banco de Semillas Forestales del CATIE, que se programaron o se acondicionaron como se explica en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Condiciones ambientales reguladas para el ensayo de germinación de fuentes de semillas, materiales y sustratos.

Ambiente Regulado	Horas luz / día	Temperatura (a.m./p.m.)	Cámara utilizada	Humedad Relativa
1	0	30° C / 30° C	Cámara de 30° C y 24 horas de luz ⁽¹⁾	45%
2	0	30° C / 15° C	Cámara GRAM ⁽¹⁾	60%
3	0	15° C / 15° C	Cámara de almacenamiento a 15° C ⁽¹⁾	40%
4	24	30° C / 30° C	Cámara de 30° C y 24 horas de luz	45%
5	24	30° C / 15° C	Cámara GRAM ⁽²⁾	60%
6	24	15° C / 15° C	Cámara GRAM	60%
7	12	30° C / 30° C	Cámara GRAM	60%
8	12	30° C / 15° C	Cámara GRAM	60%
9	12	15° C / 15° C	Cámara GRAM	60%

⁽¹⁾ El ambiente de oscuridad se creó empacando cada caja (unidad de muestreo) en bolsas de polietileno negras, calibre 8, que incrementó la temperatura entre 1 y 1.5° C.

⁽²⁾ El cambio de temperatura se hizo manualmente cada 12 horas

Los tratamientos de temperatura se eligieron, aprovechando al máximo las cámaras disponibles, que están muy cercanos a las temperaturas máximas y mínimas promedio de 15.5° C y 29.5° C registradas en la estación meteorológica del CATIE, de los años 1958 a 2001 (CATIE, 2002).

El ensayo se realizó entre el 24 de mayo y el 12 de septiembre de 2002. Las dos cámaras GRAM fueron programadas tres veces, con intervalos de un mes, según el ambiente que correspondió por sorteo. Se asumió que durante los tres meses en que se realizó el ensayo, las semillas almacenadas no presentaban cambios notables en su viabilidad, en la cámara de 15° C.

Cada unidad de muestreo, se empacó y rotuló individualmente en bandejas plásticas desechables (50 semillas) o en bolsas de polietileno (50 frutos). Luego se almacenaron en bolsas con cierre hermético de calibre 2.5 y rotuladas, hasta el momento de la siembra. La

arena y el sustrato del vivero se tamizaron en una zaranda de 5 mm x 5 mm, se empacaron en bolsas especiales y se esterilizaron separadamente en un autoclave durante 1 y 3 horas, respectivamente, a una presión de 1 kg/cm²; luego fueron dejados sellados en reposo hasta el momento de la siembra. El sustrato de arena y tierra se hizo después con la mezcla de ambas en proporción 1:1. Las hojas de papel filtro fueron envueltas en papel de aluminio y se esterilizaron en el horno a 103 ± 1° C, durante 16 horas.

Al comienzo del ensayo, el laboratorio fue limpiado y desinfectado. Se desinfectaron 96 conchas plásticas desechables de poliestireno transparente usadas como germinadores por cada cámara. Se llenaron 24 cajas desechables con 150 cm³ de cada sustrato o con ½ hoja de papel filtro doblada y se rotularon con la etiqueta correspondiente. En cada caja se sembró un grupo de semillas o frutos y se rociaron con una solución fungicida²⁷ al 0.3% (P/V). Los frutos fueron cubiertos con una capa de aproximadamente 2 mm del sustrato. Las semillas sólo fueron colocadas superficialmente. Las cámaras y las conchas plásticas se desinfectaron con alcohol, antes de colocarse en las bandejas de la cámara, según el sorteo realizado.

Las evaluaciones se hicieron diariamente los primeros 21 días y después cada tres días hasta el día 30. La cámara evaluada con temperatura de 30° C y oscuridad total que se evaluó solamente hasta el día 21, por el ataque de hongos generalizado a todo el ensayo. Las semillas y frutos fueron rociados con agua cada tres días, dependiendo de la humedad del sustrato. Las cajas con presencia de hongos fueron rociadas con el fungicida, en lugar del agua, cuando se consideraba necesario.

Las cajas desechables fueron utilizadas dos veces, en promedio, para lo cual fueron muy bien lavadas y luego desinfectadas en una solución de hipoclorito de sodio (NaHCl) al 0.1%. Posteriormente se lavaron con agua corriente y se desinfectaron con alcohol como ya se explicó.

3.2.3.3 Variables de respuesta

La germinación se definió como la salida de los cotiledones de la testa, como lo establecen las normas del IPGRI²⁸. Además, el último día, se hizo un recuento de los frutos o semillas en que emergió la radícula o los cotiledones parcialmente, definición empleada por el ISTA. A la variable respuesta (porcentaje de germinación, x), se le aplicaron las transformaciones $\sqrt{x+0.5}$ y $\text{arc sen } \sqrt{x/100}$.

La evaluación de las respuestas se hizo para el último día del tratamiento utilizando el procedimiento de análisis de varianza "Proc GLM" del paquete estadístico computacional SAS.

²⁷ Fungicida -anilida, Ftalamida Carboxin, Captan 5,6 dihidro-2-metil-1,4-oxatieno-3 carboxanilida 20% (P/P) N-Triclorometilto-4-ciclohexen-1,2 dicarboximida 20% (P/P)

²⁸ International Plant Genetic Resources Institute

Para encontrar las diferencias de promedios por tratamiento se hizo la prueba LSD-Fisher, utilizando el paquete computacional estadístico INFOSTAT

3.2.4 Efecto de la desecación y almacenamiento de frutos en la germinación de semillas de burío

3.2.4.1 Lote de semillas para el experimento de almacenamiento y desecación de frutos en la germinación de la semilla de burío.

Los frutos de la fuente de semillas del CATIE, fueron recolectados con un 30.4% de contenido de humedad (Anexo 4, Cuadro 4.6), secados al aire y bajo cubierta durante 9-10 días. Se alcanzó un contenido de humedad de 12.8%, (Anexo 4, Cuadro 4.7) que se tomó como base para iniciar la desecación a 9% y 5%. Se mezclaron frutos de 10 árboles en partes iguales por peso, obteniendo un lote de 2730 g, más del doble de la cantidad de semilla requerida para el almacenamiento (IPGRI/DFSC, 1996). Los frutos del árbol 1 se encontraron perforados por un picudo, insecto de la familia Curculionidae, por lo cual el lote se sumergió dentro de una solución de un insecticida piretroide²⁹ al 0.6%, en una bolsa de tela durante tres minutos y se dejaron secar cinco días al aire. Se siguieron los procedimientos que el IPGRI/DFSC (1996) propone para evaluar semillas intermedias o recalcitrantes. En el Cuadro 5 se presentan los datos fenológicos de los árboles del CATIE.

3.2.4.2 Desecación

A una temperatura de 15° C y 45% de humedad relativa, se extrajeron aleatoriamente 1200 g del lote de frutos a un contenido de humedad de 12.8%, en tres bolsas plásticas tomando puñados de diferentes partes, sellando herméticamente la bolsa lista y manteniendo cerrada la bolsa con el lote completo, para evitar ganancia de agua en caso de necesidad de repetir nuevamente el ensayo. Se calculó el peso final necesario para alcanzar los dos contenidos de humedad deseados. se pesaron y rotularon los tres sacos de tela, para calcular la tara después del tratamiento de secado. En un saco se depositaron 400 g, para un contenido de humedad deseado de 9% y los otros 400 g se depositaron en dos sacos, 200 g en cada uno, para un contenido de humedad deseado de 5%. Cada saco se introdujo en una bolsa de polietileno transparente de baja densidad, calibre 2. Se agregó suficiente sílica gel a ambos lados del saco para cubrir los frutos empacados en el centro y se selló la bolsa completamente con cinta transparente. El contenido de humedad de 9% se consiguió después de 6 horas en sílica gel y una hora de rehidratación al medio ambiente. El contenido de humedad del 5%, bajó hasta 4.4%, según los ensayos de verificación del contenido de humedad y se logró después de 42

horas en sílica gel. De los 400 g a un contenido de humedad de 12.8% quedaron 371 g a 9% y 345 g a 4.4%.

El contenido de humedad en cada lote de frutos se determinó con dos muestras de 5 g cada una a los 3 y 6 meses de almacenamiento (Normas ISTA, 1996). Con estos datos se hizo un análisis de varianza de un diseño completamente al azar en arreglo factorial para determinar el comportamiento de los contenidos de humedad de los frutos (12.8%, 9% y 4.4%) tres y seis meses después del almacenamiento en las cámaras de -17° C, 5° C, 15° C y la caja a temperatura ambiente para tratar de relacionar su efecto sobre los resultados de germinación de las semillas.

El modelo evaluado fue:

$$y_{ijkl} = \mu + CH_i + T_j + CH * T_{ij} + P_k + CH * P_{ik} + T * P_{jk} + e_{ijk}$$

Donde,

μ es la media poblacional del contenido de humedad al momento del desalmacenamiento, CH_i es uno de los tres contenidos de humedad de los frutos antes del almacenamiento ($i = 4.4, 9$ y 12.8%), T_j es una de las cuatro temperaturas de las cámaras ($j = -17, 5, 15$ °C y temperatura ambiente, ± 28 °C), $CH * T_{ij}$ es la interacción contenido de humedad de la semilla * temperatura de almacenamiento, P_k es el tiempo de almacenamiento ($l = 3, 6$ meses), $CH * P_{ik}$ es la interacción entre el tiempo de almacenamiento y el contenido de humedad inicial de la semilla, $T * P_{jk}$ es la interacción entre la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento, e_{ijk} es el error experimental e y_{ijk} es el contenido de humedad de los frutos al momento del desalmacenamiento observado en el contenido de humedad inicial i , almacenadas a una temperatura j durante k meses.

Al no haber repeticiones, sino dos muestras por cada empaque, se consideró la interacción de tercer orden como error experimental, asumiendo que las diferencias encontradas son producto del azar. Adicionalmente se calculó el contenido de humedad de las semillas sobrantes a los 6 meses de almacenamiento, después del tratamiento pre-germinativo y 36 horas de secado en la cámara de 30° C.

3.2.4.3 Almacenamiento

Los frutos de cada contenido de humedad se empacaron en bolsas plásticas de ¼ de galón con cierre hermético, una bolsa para cuatro cámaras y tres periodos (3, 6 y 12 meses), 12 bolsas en total; luego se guardaron en una caja plástica blanca con un volumen aproximado de 21 lt. Cada caja se almacenó en las cámaras de -17° C, 5° C y 15° C y a temperatura ambiente, ubicadas aleatoriamente en los sitios disponibles. Las condiciones de almacenamiento de los frutos

²⁵ Deltametrina Ingrediente activo (S)ciano-m-Fenoxibencil (1R,3r)-3-(2,2 dibromo vinil 2,2. dimetilo Ciclopropano carboxilato (2.5%)) (P/V)

durante seis meses se indican en el Cuadro 7. La humedad relativa fue registrada en el interior de las cajas plásticas que contenían los empaques con frutos

Cuadro 7. Ensayo de desecación y almacenamiento de frutos de burío. Condiciones controladas de las cámaras de almacenamiento de frutos de burío y condiciones registradas dentro de la caja de almacenamiento a la temperatura ambiente. CATIE, 2002.

Temperatura	Humedad Relativa
- 17° C	0 – 3%
5° C	65%
15° C	45%
27.6 + 3.3° C ⁽¹⁾	77.5 + 2.3% ⁽¹⁾

(1) Promedio \pm Desviación estándar de una lectura registrada entre las 2:00 p.m. y las 2:30 p.m. durante 8 días

En la caja de almacenamiento a temperatura ambiente, durante las 24 horas del día, se registró una temperatura mínima y máxima absolutas de 19.1°C y 32.6°C, respectivamente. La humedad relativa diaria mínima alcanzada fue de 67%; los valores de humedad relativa máxima resultaron inconsistentes. La humedad relativa a las 2:00 p.m., fluctuó entre 71 y 88%, con un promedio de 77.5%.

En total se almacenaron 300 g de frutos por cada contenido de humedad, 25 g en cada bolsa, con una condición de 15° C y 45% de humedad relativa. A las semillas empacadas se les trató de retirar el máximo contenido de aire, dejando una pulgada abierta en el extremo y presionando la bolsa sobre una superficie plana, antes de sellarlas completamente. Las bolsas fueron rotuladas con la fecha de almacenamiento, el contenido de humedad al inicio del almacenamiento, la cámara donde fue almacenada y la fecha para ser evaluadas 3, 6 y 12 meses después del almacenamiento. Los resultados del almacenamiento un año después no aparecen en esta investigación.

3.2.4.4 Germinación

Para efectos del análisis, todas las variables se consideraron como efectos fijos, ya que el lote fue formado por partes iguales por peso de frutos de 10 árboles recolectados o seleccionados por tener semillas y no al azar. Para los ensayo de germinación se utilizaron 4 g de frutos de los que se extrajo la semilla en húmedo con una licuadora, como se explicó en el ítem 3.2.1.2, suficiente para obtener cuatro repeticiones de 100 semillas cada una, siguiendo los procedimientos de la ISTA (1996). Los ensayos se realizaron en la cámara de 30 °C, con luz las 24 horas y arena como sustrato. La germinación se definió como la salida de los cotiledones (IPGRI/DFSC, 1996).

a) ensayo de germinación antes del almacenamiento

Para este ensayo se utilizó un diseño completamente al azar con dos repeticiones y dos muestras. Se utilizaron seis cajas de germinación, con dos muestras en cada caja (repetición) y se sortearon al azar. El modelo evaluado, antes del almacenamiento, fue:

$$y_{ijk} = \mu + Hdad_i + e_{j(i)} + Caja(Hdad)_{j(i)k}$$

Donde,

μ es la media poblacional (porcentaje de germinación esperado), $Hdad_i$ es el contenido de humedad alcanzado por los frutos ($i = 12.8\%$, 9% y 4.4%); $e_{j(i)}$ es el error de muestreo; $Caja(Hdad)_{j(i)k}$ es el error experimental, con $j = 1, 2$ muestras $k = 1, 2$ cajas (repeticiones); y_{ijk} es la variable respuesta observada en la caja k de la muestra j en el tratamiento i .

Este resultado se usó para estimar la viabilidad inicial de las semillas y así obtener un resultado de referencia. El ensayo se evaluó diariamente durante 15 días, cuando dejaron de emerger las plantas o desplegar los cotiledones. El análisis de varianza de los datos se hizo utilizando el programa SAS. Las variables de respuesta fueron el porcentaje y velocidad de germinación, los índices de vigor de Czabator, Diavanshir & Pourbeik y el coeficiente de velocidad.

b) ensayo de germinación después del almacenamiento

Para los ensayos de germinación 3 y 6 meses después del almacenamiento se empleó un Diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial, debido a que se sospechaba que el sitio disponible donde se ubicó el ensayo de germinación en cada periodo estaba a diferentes alturas y encima del extractor de humedad.

El modelo evaluado para la germinación de las semillas, después del almacenamiento, fue el de un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial:

$$y_{ijkl} = \mu + R_i + CH_j + T_k + CH * T_{jk} + P_l + CH * P_{jl} + T * P_{kl} + CH * T * P_{jkl} + e_{ijkl}$$

Donde,

μ es la media poblacional (% de germinación o valores esperados de los índices de vigor), R_i es la repetición ($i = 1, 2, 3, 4$), CH_j es uno de los tres contenidos de humedad de la semilla antes del almacenamiento ($j = 4.4, 9$ y 12.8%), T_k es una de las cuatro temperaturas de las cámaras ($k = -17, 5, 15$ °C y temperatura ambiente, aproximadamente 28 °C), $CH * T_{jk}$ es la interacción contenido de humedad de la semilla * temperatura de almacenamiento, P_l es el tiempo de almacenamiento ($l = 3, 6$ meses), $CH * P_{jl}$ es la interacción entre el tiempo de almacenamiento y el contenido de humedad inicial de la semilla, $T * P_{kl}$ es la interacción entre la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento, $CH * T * P_{jkl}$ es la interacción entre el contenido de humedad de la semilla, la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento, e_{ijkl} es el error experimental e y_{ijkl} es el porcentaje de germinación o el vigor de las semillas observado de la repetición i , con el contenido de humedad j , almacenadas a una temperatura k durante l meses.

Al porcentaje de germinación se le aplicaron las transformaciones: $\arcsen \sqrt{x/100}$ y $\sqrt{(x + 0.5)}$. Los ensayos de germinación a los 0, 3 y 6 meses se realizaron los días 6, 13 y 14 de marzo,

junio y septiembre de 2002, respectivamente. Se utilizaron como germinadores 48 conchas plásticas desechables de poliestireno transparente para empacar alimentos. Las semillas fueron rociadas con agua cada tres días.

Los ensayos de germinación a los 3 y 6 meses se evaluaron diariamente los primeros 15 días y después cada tres días hasta el día 21. La germinación de las semillas a los 3 y 6 meses de almacenamiento continuó después de este día, pero no se pudo darle más seguimiento por falta de tiempo.

El análisis de varianza de los datos se hizo utilizando el programa SAS. Las variables de respuesta fueron el porcentaje y velocidad de germinación, los índices de vigor de Czabator, Diavanshir & Pourbeik y el coeficiente de velocidad. El porcentaje de germinación se estimó el día 21. Los demás índices se calcularon para el día 15, último día de recuentos diarios.

3.2.5 Cosecha de frutos por árbol

En Veintiocho Millas se realizó un ensayo adicional para determinar la cantidad de frutos producidos por los árboles de burío. Para este ensayo se utilizaron tres árboles a los cuales se les cosechó $\frac{1}{4}$ del área de copa y se tomó el peso de los frutos verdes y maduros en una balanza de platillo con capacidad para 1 kg. A estos árboles se les hizo las pruebas de rutina del ISTA (1996) individualmente, con el fin de estimar el número promedio de frutos producidos por árbol (Anexo 6, Cuadro 6.1 y 6.2).

3.3 Propagación por estacas

Los ensayos se realizaron en el vivero forestal de la finca Cabiria, perteneciente al CATIE, Turrialba, Costa Rica. Todos los árboles utilizados presentaban rebrote de hojas en toda la copa, sin caída aparente de las hojas desarrolladas y sin presencia de flores ni frutos. En los ensayos con estacas (Figura 7) se pretendió evaluar en el efecto de seis factores sobre el enraizamiento de estacas de burío, como son:

1. diferentes dosis de AIB (0.25%, 0.50% y 0.75%) y control,
2. la forma de aplicación del AIB (en metanol a diferentes concentraciones, agua destilada o talco),
3. la luz,
4. la longitud de estacas (entre 6 y 30 cm),
5. el sustrato (arena, aserrín, arena: aserrín 1:1 y grava),
6. el área foliar (entre 25 y 100 cm²)

Se utilizaron propagadores de sub-irrigación (Leakey *et al.*, 1990, Anexo 2). Los propagadores se colocaron en el vivero forestal del CATIE debajo de un sarán doble, a 2 m de altura sobre el suelo. Antes del llenado de los propagadores se colocó un tubo sostenido por el filtro y el

sustrato, para permitir el llenado de agua sin remoción de estos materiales. El filtro es una capa de 25 cm de espesor formada con piedras (de 6 a 15 cm de diámetro), grava y una capa delgada de arena, en este orden. Sobre él se colocó una capa de 10 cm del sustrato correspondiente. El filtro se llenó con agua hasta la mitad, para que el agua ascendiera fácilmente por capilaridad hasta el sustrato.

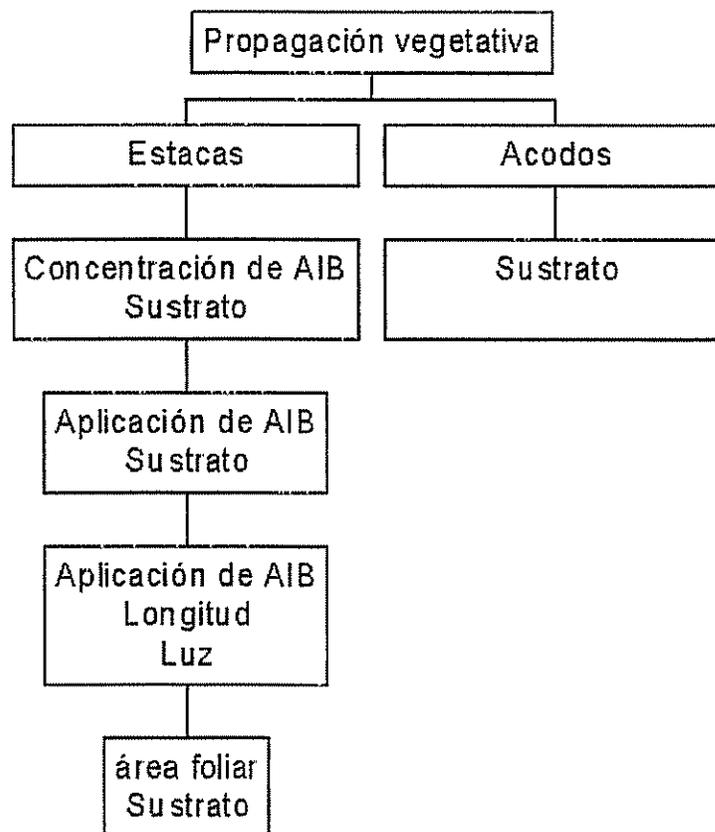


Figura 7. Diagrama de flujo de los experimentos realizados con estacas y acodos de burío (*H. appendiculatus*). Turrialba, CATIE, 2002.

Las condiciones ambientales dentro de los propagadores fueron monitoreadas, tomando los datos de luz, temperatura y humedad relativa del propagador, temperatura de la hoja y el sustrato utilizando un Micrologger 21X, el cual se programó para almacenar los promedios de los registros cada 10 minutos.

El eje longitudinal de los propagadores fue colocado en dirección NS. Las estacas fueron rociadas diariamente con agua a las 7:00 y a las 14:00 horas, durante el tiempo que demoró cada ensayo. Las estacas fueron sembradas utilizando una plantilla hoyadora con un espaciamiento de 5 cm x 5 cm y a 2-2.5 cm de profundidad. Las variables de respuesta analizadas en los ensayos fueron porcentaje de enraizamiento, sobrevivencia y número de raíces.

En acodos se analizó el efecto de tres sustratos sobre el porcentaje de enraizamiento, sobrevivencia y número de raíces.

3.3.1 Efecto de cuatro dosis de AIB y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío

3.3.1.1 Primer intento

Se aplicó un diseño de bloques irrestricto al azar en arreglo factorial. El modelo estadístico que se evaluó fue:

$$y_{ij} = \mu + B_i + S_j + D_k + S*D_{jk} + e_{ij}$$

Donde, μ es la media poblacional de la variable respuesta; B_i es el bloque (propagador), $i=1,2,3$; el tratamiento estuvo compuesto por la combinación de cuatro sustratos (S), (j =arena, aserrín, arena:aserrín 1:1 y grava) y tres dosis de AIB (0.25, 0.5 y 0.75 % disueltas en metanol puro) o un control de metanol puro (D), ($k = 1,2,3,4$), e_{ijk} es el error experimental y y_{ijk} es la respuesta observada para a) la sobrevivencia, b) el porcentaje de enraizamiento y c) el número de raíces / estaca enraizada observados en cada unidad experimental.

Cada propagador contenía 16 tratamientos distribuidos aleatoriamente, cada tratamiento formado por 15 estacas en cada unidad de muestreo (240 estacas por propagador). En los cajones correspondientes a grava, el filtro se roció con agua y se colocó una nueva capa de arena, antes del sustrato, para llenar los espacios vacíos de la piedra. Las tapas de los propagadores estaban pintadas de blanco y se colocó un sarán sobre cada propagador durante 10 días.

El experimento se estableció durante el 26, 27 y 29 de abril de 2002, sembrando un propagador diariamente. El día 26 comenzó la fase de luna llena. Se recolectó material suficiente para 240 estacas, intentando cortar 40 estacas de seis árboles diferentes cada día. Esto no siempre fue posible porque había árboles pequeños, por lo que hubo necesidad de coleccionar de árboles vecinos hasta completar el material suficiente para 40 estacas.

Los árboles donantes son árboles juveniles de la regeneración natural muy heterogéneos: entre 2.8 y 14.3 cm de dap y entre 2 y 12 m de altura (ver Anexo 7, cuadro 7.1). Los árboles se encontraron en la margen derecha del río Reventazón, entre 200 y 600 m al sur del puente de Eslabón sobre el río, carretera al Limón, con excepción del árbol 45 que se encontró en un talud de la carretera, muy cerca del sitio de colecta. Los árboles hacen parte de la vegetación secundaria que se desarrolla en estos bosques de ribera.

Durante los tres días las estacas se recolectaron entre las 7:00 a.m. y las 9:30 a.m.; se prepararon entre las 9:00 y 11:00 a.m.; se sembraron en el sustrato entre las 10:45 a.m. y la 1:00 p.m. Los días de colecta fueron soleados y sin lluvias. Desde el momento del corte se

rociaron con abundante agua y se mantuvieron en un sitio sombreado, para reducir el estrés. Se empacaron en una bolsa plástica para cada árbol, y después se sumergieron en el río por grupos de tres o cuatro bolsas. Este procedimiento es similar al empleado por Longman (1993). En el área bajo techo del vivero se prepararon las soluciones de AIB, se cortaron 40 estacas por árbol, de 6 cm de longitud, reduciendo el área de una hoja desarrollada a 25 cm² y se colocaron en un recipiente amplio con capas de hojas de papel periódico húmedo, una por cada árbol. Luego se mezclaron retirando las hojas de papel. Después de limpiar el mucílago de la base de las estacas se sumergieron 10 segundos en la solución de hormona y se dejaron secar 3 minutos al aire, para ser sembrados en el sustrato correspondiente. Cada solución de hormona fue tapada inmediatamente después de la inmersión, para evitar la evaporación. Los porcentajes de sobrevivencia y enraizamiento se evaluaron 35 días después de la siembra.

3.3.1.2 Segundo intento

En vista de que casi todas las estacas presentaron necrosamiento y caída de la hoja en menos de tres días y sólo unas pocas desarrollaron raíces, se repitió nuevamente el experimento pero las estacas se sumergieron en un recipiente con aislamiento térmico (hielera), agregando suficiente agua para el transporte del sitio de recolección al vivero.

Este experimento se realizó el 10, 11 y 12 de junio de 2002, con árboles de La Esperanza de Atirro. La fase de luna nueva se presentó entre el 10 y 16 de junio. Se recolectaron diariamente 300 estacas de 6 árboles diferentes, 50 estacas por árbol. Se emplearon 15 árboles en total con tamaños muy heterogéneos: dap entre 6 y 40 cm y alturas entre 5 y 18 m (Anexo 7, Cuadro 7.2). Los árboles se encontraron en la ribera del río Atirro y junto a la vía, muy cercana al río. Corresponde a una vegetación en los primeros estadios de una sucesión secundaria, rodeada por cultivos de caña de azúcar. Los árboles más frecuentes que acompañan al burío son balso (*Ochroma lagopus*), guarumo (*Cecropia sp*), hinchador (*Toxicodendron striatum*), higueros (*Ficus spp*); muchas especies de la familia de las compuestas y melastomatáceas en la vegetación invasora, como tuetes (*Vernonia spp*), etc.

Durante los tres días la recolección de las estacas se hizo entre las 8:30 y las 10:15 a.m.; el transporte hasta el CATIE duró entre 30 y 40 minutos; la preparación de estacas se hizo entre las 10:45 a.m. y la 1:00 p.m.; la siembra se hizo entre las 12:30 y la 1:30 p.m.

En el campo se prepararon las estacas de cada árbol a la sombra, inmediatamente después del corte de las ramas. De una misma rama y descartando el meristemo apical, se cortaron estacas sucesivas de 6 cm de longitud, dejando una sola hoja, manteniéndolas constantemente humedecidas con un aspersor y empacándolas en una bolsa rotulada por árbol. A medida que se terminaba de preparar un árbol se almacenaron en la hielera con agua, tapada y en la

sombra. A cada bolsa se le agregó un poco de agua, antes de anudarla y colocarla en la hielera.

En el vivero el área foliar de las estacas se redujo a 30 cm² y se mezclaron las estacas en proporciones iguales de todos los árboles. Las bases de 15 estacas se limpiaron del mucílago, se sumergieron por grupos durante 10 segundos en la solución respectiva, dejándolas secar al aire durante tres minutos y se sembraron en el sitio correspondiente. Las soluciones de hormona permanecieron en recipientes tapados para evitar la evaporación. Las condiciones del propagador fueron las mismas que en el primero experimento y adicionalmente se colocó un sarán durante los primeros 7 días.

3.3.2 Efecto de las formas de aplicación del AIB en dos sustratos

La mortalidad de las estacas en los dos primeros ensayos fue total. En vista de esto, se hizo un ensayo pequeño para tratar de encontrar la mejor forma de aplicación del AIB y el tiempo de inmersión. Para el análisis de los datos se estableció un diseño experimental irrestricto al azar con arreglo en parcelas divididas. El modelo que se analizó es

$$y_{ijk} = \mu + S_i + R_i(S_i) + F_k + (S F)_{ik} + e_{ijk}$$

Donde μ es la media esperada de la variable respuesta, S_i es la parcela grande, factor A o el efecto del sustrato ($i =$ arena y grava) e_{ij} es la variación al azar de la parcela grande (error A), F_k es el efecto de la forma de aplicación del AIB ($k =$ AIB al 0.5% en metanol puro aplicada por un segundo, AIB al 0.5% en metanol puro aplicado por 10 segundos, AIB al 0.5% en metanol al 50% aplicado por un segundo, AIB al 0.3% en una base de talco); $(SF)_{ik}$ es la interacción entre la parcela grande (sustrato) y la parcela pequeña (forma de aplicación del AIB); e_{ijk} es el error experimental o variación al azar entre las subparcelas (error tipo B debido a la forma de aplicación del AIB) y y_{ijk} es la respuesta observada para a) sobrevivencia, b) porcentaje de enraizamiento y c) número de raíces por tratamiento.

Para este ensayo se empleó un solo propagador. En un primer paso de aleatorización se sorteó la ubicación de los dos sustratos (parcela grande), con cuatro repeticiones cada uno. En un segundo paso de aleatorización, se establecieron al azar las cuatro formas de aplicación del AIB (parcela pequeña) para formar 8 tratamientos. Cada unidad de muestreo correspondió a 5 estacas, 20 estacas de un mismo tratamiento por sustrato, 80 estacas en los dos sustratos, 160 estacas en total.

El experimento se realizó el 25 de junio de 2002, con estacas recolectadas de árboles de la regeneración natural de 1 – 1.5 m de altura embolsados durante 8 meses. El día 24 comenzó la fase de luna nueva. El día de la siembra fue nublado. El ensayo se hizo entre las 9:00 y las

11:30 a.m. Se emplearon de dos a tres cortes de cada rama, con estacas de 6 cm de longitud y una sola hoja a la que se le redujo su área a 30 cm². Todas las estacas se sumergieron en un balde con agua y se mezclaron para aplicar al azar el tratamiento respectivo. Las cinco estacas correspondientes a la unidad de muestreo fueron limpiadas en su base para quitar el mucilago que salía profusamente y así permitir un mejor contacto con la hormona. La base de las estacas fue sumergida en alguna de las soluciones por el tiempo indicado y luego secadas con una corriente de aire de un ventilador durante tres minutos, antes de la siembra.

Este ensayo fue evaluado 15, 24 y 35 días después de la siembra, pero sólo se incluyen los resultados del día 35.

La evaluación de las respuestas se hizo utilizando el procedimiento de análisis de varianza, utilizando el procedimiento de "Proc GLM. También se empleó la prueba de Chi-cuadrado con el procedimiento "Proc FREQ" del paquete estadístico computacional SAS.

3.3.3 Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y luz sobre la sobrevivencia, enraizamiento y número de raíces de estacas de burío.

Se hizo un nuevo ensayo para encontrar la mejor forma de aplicación de la hormona a las estacas, en húmedo y en seco, ensayando metanol, agua destilada y talco. Se empleó como sustrato una mezcla 1:1 de arena:aserrín.

Los tratamientos se organizaron como un diseño de bloques al azar en un arreglo factorial ampliado. El modelo empleado fue:

$$y_{ijk} = \mu + B_i + L_j + F_k + L^*F_{jk} + e_{ijk}$$

Donde μ es la media poblacional de la variable respuesta, B_i es el bloque (repeticiones), con $i = 1, 2, 3, 4$. Los tratamientos aplicados son una combinación de cuatro longitudes L_j ($j = 6, 14, 22$ y 30 cm) y siete tratamientos y $k =$ seis formas de aplicación del AIB al 0.3% en metanol al 25%, 50%, 75% y 100% agua destilada o talco y un control de agua destilada. L^*F_{jk} mide la interacción entre la longitud de estaca y la forma de aplicación de la hormona; e_{ijk} es el error experimental y y_{ijk} es la respuesta observada para a) sobrevivencia, b) porcentaje de enraizamiento, y c) número de raíces observadas en cada unidad de muestreo.

Los dos propagadores se manejaron como cuatro bloques, creando dos condiciones de luz. La tapa con la solapa fue forrada con el plástico transparente, mientras que la otra tapa fue dejada con pintura blanca. Este tratamiento no es aleatorio; se eligió a propósito, por la posibilidad que ofrecía el propagador para cambiar por plástico transparente solamente la tapa que se traslapa para mantener el mismo tamaño del bloque. Por esta razón el factor de condición de luz no

aparece en el modelo. Para los 28 tratamientos resultantes se emplearon 5 estacas en cada unidad de muestreo, 140 estacas por bloque, 560 estacas en los cuatro bloques

Los árboles empleados tenían entre 6.7 y 28.8 cm de dap y entre 4 y 15 m de altura. No fue posible coleccionar igual número de estacas por árbol, pero las estacas de cada árbol se dividieron en partes iguales para cada longitud. (Anexo 8, Cuadro 8.1). Durante la recolección y preparación se evitó sumergir las estacas en agua. Las estacas se mantuvieron húmedas con un aspersor manual.

Se utilizó únicamente la estaca apical, sin importar el origen de la rama y se redujo el área foliar a 30 cm². Cada tamaño de estacas se depositó en baldes rotulados. Después de preparar todos los árboles, las estacas de un mismo tamaño se mezclaron. El AIB fue disuelto en el metanol, antes de completarse el volumen de solución, porque es insoluble en agua (Erickson, 1957). La solución de AIB en agua destilada se hizo con el agua a 90° C para mejorar un poco la disolución y se dejó reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente, antes de aplicarla a las estacas correspondientes. La base de las estacas de un mismo tratamiento se sumergieron en las soluciones de hormona en metanol por un segundo y se secaron con un ventilador por 3 minutos antes de sembrarlas en el lugar correspondiente al sorteo realizado.

El ensayo se estableció los días 17 y 18 de julio de 2002. El 16 de julio comenzó la fase lunar de cuarto creciente. Las estacas de este experimento se consiguieron de cuatro árboles localizados en la finca Cabiria del CATIE, a una distancia máxima de 100 m del vivero forestal. Diariamente se sembraron 280 estacas, es decir, dos bloques. La recolección y preparación de estacas se hizo entre las 6:30 y las 11:00 a.m., recolectando y preparando un árbol cada vez. La siembra se hizo entre las 10:30 y las 11:30 a.m. Las estacas se prepararon en el área de germinación bajo techo.

Las variables respuesta analizadas fueron a) sobrevivencia en el propagador, b) porcentaje de estacas enraizadas y c) número promedio de raíces por estacas vivas en cada tratamiento.

Todos los sensores de temperatura de la hoja y el suelo se colocaron en el mismo propagador, en el tratamiento de 14 cm de longitud con AIB disuelto en metanol al 50% y en las dos condiciones de luz sin repetición, por no contarse con más sensores de temperatura. Este tratamiento corresponde a condiciones intermedias evaluadas. La evaluación se hizo un mes después de la siembra.

3.3.4 Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.)

Se empleó un diseño de bloques al azar en arreglo factorial, compuesto por 16 tratamientos resultado de la combinación de cuatro sustratos (arena, aserrín, arena:aserrín 1:1 y grava) y cuatro áreas foliares (25, 50, 75 y 100 cm²) en una sola lámina foliar. Para cada uno de los 16

tratamientos se emplearon 15 estacas en cada unidad de muestreo, 240 estacas en cada bloque, 720 estacas en los tres bloques. El modelo estadístico que se evaluó es:

$$y_{ij} = \mu + B_i + S_j + A_k + S^*A_{jk} + e_{ijk}$$

Donde, μ es la media poblacional de la variable respuesta, B_i es el bloque, $i = 1, 2, 3$; S_j , es el sustrato ($j =$ arena, aserrín, arena+aserrín y grava); A_k es el área foliar ($k = 25, 50, 75$ y 100 cm^2); e_{ij} es el error experimental e y_{ij} es la respuesta observada para a) sobrevivencia, b) porcentaje de enraizamiento, y c) número de raíces / estaca enraizada observados en cada unidad de muestreo.

Este experimento se realizó con árboles provenientes de la finca de Cabiria del CATIE, por San Juan Norte de Turrialba. La zona está ubicada a 935 msnm, con un 20% de pendiente. Su uso anterior fue de ensayos con especies forrajeras arbóreas como madero negro (*Gliricidia sepium*) y poró (*Erythrina poeppigiana*). La vegetación natural de la zona está compuesta de Rubiáceas como *Palicourea spp*, Acantáceas como el palo de agua (*Trichanthera gigantea*) y Mirtáceas como el güisaro (*Psidium sp*).

El experimento se estableció el 11, 12 y 13 de septiembre de 2002 durante la fase de luna nueva. El 13 de septiembre comenzó la fase de luna llena. Se utilizaron ocho árboles con dap entre 6.6 y 35.1 cm y alturas entre 3 y 8 m. No fue posible coleccionar igual número de estacas por árbol, pero la proporción de estacas de cada árbol fue similar en cada uno de los bloques (Anexo 8.2). Los árboles se cosecharon entre las 7:00 y las 8:15 a.m., se transportaron al vivero en unos 15 minutos y se prepararon para recibir los tratamientos entre las 8:30 y las 10:30 a.m. La siembra se hizo entre las 10:30 y las 11:30 a.m. Todos los días fueron soleados y calientes. Durante la recolección, las ramas de cada árbol fueron rociadas con agua para conservar la humedad y empacadas en bolsas separadas.

Las estacas se cortaron de 14 cm de longitud, empleando solamente la estaca subapical de cada rama. Las estacas de un mismo árbol se dividieron en cuatro grupos para recortar el área foliar de cada grupo con la plantilla de cartón correspondiente y luego fueron asperjadas con agua y cubiertas con papel absorbente, mientras se preparaban los grupos completos. La base de las estacas de cada unidad de muestreo se sumergieron por un segundo en la solución de AIB al 0.3% en metanol puro, y se secaron durante tres minutos en un ventilador, antes de ser sembradas en el sustrato correspondiente.

Se hizo un seguimiento durante ocho días de la temperatura y humedad relativas de dos propagadores. La radiación solar se estimó en todos los propagadores con seis sensores de luz, dos por cada propagador. La temperatura del sustrato y de las hojas se midió rotando cada dos días los sensores en un mismo sustrato y en los tratamientos correspondientes al área foliar de 50 y 75 cm^2 , por tratarse de los valores promedios en los sustratos. El ensayo se evaluó a los 35 días.

3.4 Propagación por acodos: efecto de tres sustratos sobre el enraizamiento de acodos aéreos de burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.)

Éste es el único experimento realizado con acodos. Los árboles estaban ubicados en diferentes lugares de la finca del CATIE (Anexo 9). A cada árbol se le hicieron tres acodos con tres diferentes sustratos (musgo, aserrín y estopa), procurando que fueran hechos en ramas primero de fácil acceso y segundo al azar. Fue imposible hacer más acodos en un mismo árbol porque muchas ramas se quebraban fácilmente. Se utilizó un diseño en bloques irrestricto al azar (Brennan y Mudge, 1998; Ireta Ojeda, 1975; Vargas y Quesada, 1996). El árbol se tomó como bloque, para un total de 15 árboles.

El modelo estadístico que se evaluó es:

$$y_{ij} = \mu + B_i + S_j + e_{ij}$$

Donde, μ = media poblacional de la variable respuesta, B_i es el bloque o el árbol ($i = 1, 2, \dots, 15$), S_j es cada uno de los tres sustratos ($j =$ estopa, aserrín y musgo), e_{ij} es el error experimental y y_{ij} es la respuesta observada para a) sobrevivencia, b) el porcentaje de enraizamiento y c) número de raíces observado en cada unidad de muestreo del árbol i con el sustrato j .

Los acodos se realizaron en 15 árboles que se encontraban en predios del CATIE, tres acodos por árbol, para un total de 45 acodos. Se tomaron ramas con un diámetro de 2 cm, a 50 ó 60 cm del ápice de la rama y a una altura entre 2.5 y 4.5 m. Cada acodo fue hecho con un anillo en la corteza de ± 8 cm de longitud y se le aplicó AIB, con una concentración del 0.3% en una base de talco. El sustrato fue sostenido con un plástico transparente de 20 cm x 20 cm y asegurado con una cuerda en ambos extremos. Para evitar muchos sumideros en el acodo, se podaron las ramas laterales.

El experimento se realizó entre el 7 y el 14 de agosto de 2002, durante la fase de luna nueva. A cada árbol se le determinó el diámetro a la altura del pecho (dap), la altura, el espesor de corteza y se rotularon con un número consecutivo. Los árboles que se utilizaron en el experimento tenían entre 5.8 y 55.5 cm de dap y alturas entre 3.9 y 25.5 m (Anexo 9). Los árboles se evaluaron al cumplir las 4 y 8 semanas.

4. Resultados y discusión

4.1 Propagación por semilla

4.1.1 Selección del mejor tratamiento pre-germinativo.

Se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos ensayados ($p < 0.01$). De los diez tratamientos pre-germinativos evaluados, la extracción de semillas de la cápsula con el método de Hernández (1989) muestra la mejor germinación: 54.5 % (Figura 8 a), el doble de la germinación obtenida con el tratamiento de frutos escarificados con lija, y casi cinco veces la germinación obtenida por los frutos sin ningún tratamiento (11.5%). No germinó ningún fruto de los tratamientos pre-germinativos que utilizaron agua caliente durante 10, 20 y 30 segundos, a diferencia de lo encontrado por Vazquez-Yanes (1976) quien obtuvo una germinación del 65% en semillas recién cosechadas y sumergidas por un minuto en agua en el punto de ebullición. Aunque los tratamientos de frutos escarificados en húmedo y en seco podrían considerarse semejantes, la escarificación en húmedo parece no afectar el endocarpo de algunas semillas, el cual, según Vazquez-Yanes (1976), impone una latencia sobre la semilla, que con el tiempo se reduce. El tratamiento de extracción de semillas en húmedo es un método para superar esta latencia. No se encontraron diferencias notables entre los demás tratamientos aplicados.

La comparación de medias usando contrastes ortogonales (Anexo 3, Cuadro 3.3) mostró que el 73.4 % de la suma de cuadrados del modelo está explicado por el tratamiento de semillas extraídas ($p < 0.05$). El contraste ortogonal que compara el tratamiento de control con el resto aporta menos del 1% a la suma de cuadrados del modelo.

Aunque técnicamente la extracción de las semillas es la mejor opción para propagar el burío en el vivero, es necesario estimar los costos y riesgos de cosechar las semillas directamente de los árboles en pie, pues la madera del burío es de muy baja densidad (McDonald *et al*, 1995). Además, una germinación de 54.5% no es aceptable para pensar en el almacenamiento de esta especie.

La germinación del ensayo de extracción de la semilla fue similar a la germinación inicial del lote hecha con el mismo tratamiento y la germinación del tratamiento control se duplicó con respecto a la germinación inicial sin tratamiento pre-germinativo.

Las decisiones no se alteran al analizar otros índices diferentes. En la Figura 8 b se observa que velocidad máxima de germinación se obtuvo a los dos días, con el tratamiento de semillas extraídas, al igual que lo obtenido por Vazquez-Yanes (1976). La prueba de germinación del lote con este tratamiento puede darse por concluida a partir del octavo día.

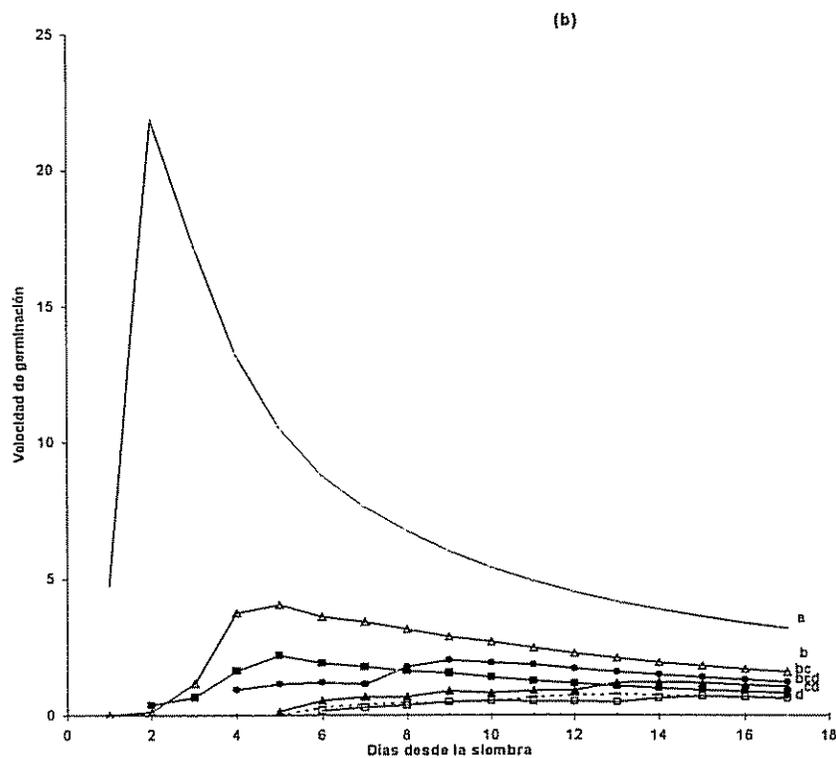
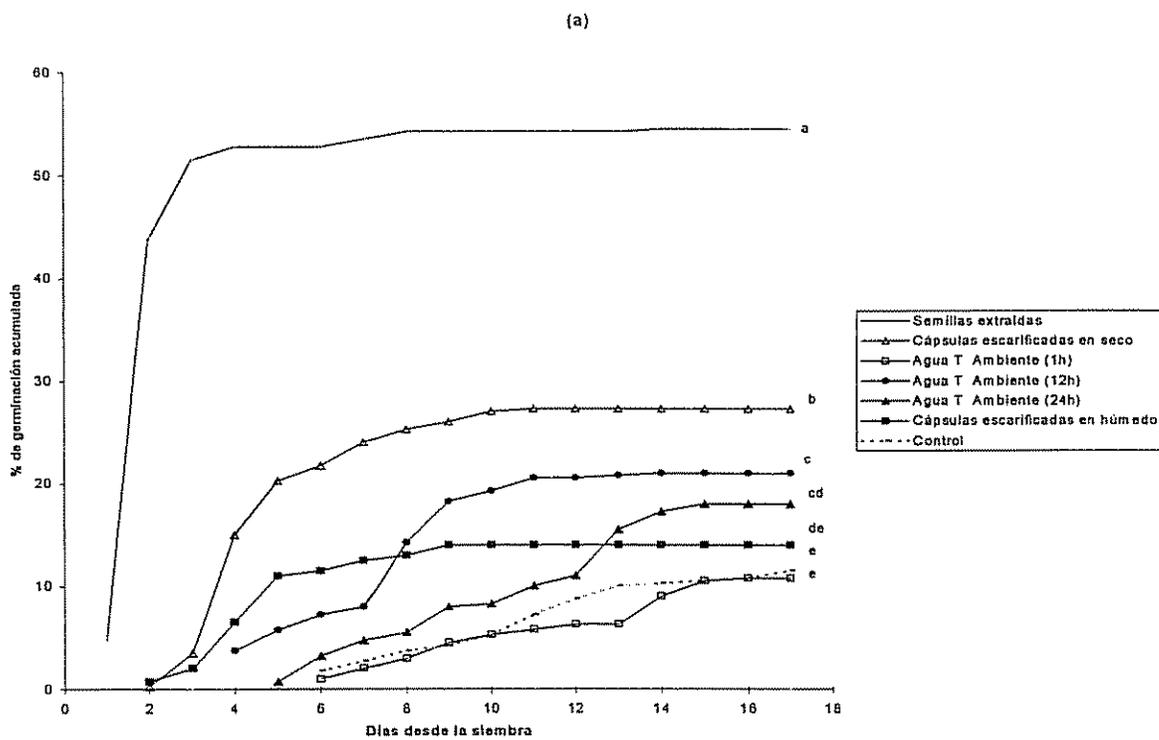


Figura 8. Selección del mejor tratamiento pregerminativo aplicado al burío (*H. appendiculatus*). (a) Porcentaje de germinación acumulado (b) velocidad de germinación.

El vigor o energía germinativa del tratamiento de las semillas extraídas, estimado por los índices de Czabator (1962), Diavanshir y Pourbeik (1976) y Coeficiente de velocidad (Kotowski, 1926), siempre fue superior, con respecto a los demás tratamientos pregerminativos ($p < 0.05$) (Cuadro 8).

El resultado del Valor de Germinación de Czabator es inconsistente para el tratamiento de extracción de semillas, pues indica que se pueden esperar 71 plantas útiles del germinador por cada 100 semillas, cuando la germinación total máxima es de 55%. Este índice fue desarrollado para pinos y no parece adecuado para la estimación de la germinación de semillas en condiciones controladas de laboratorio, utilizando como criterio la emisión de la radícula. El índice de Diavanshir y Pourbeik indica que se obtienen 42 plantas útiles del germinador, semejante al resultado obtenido con el coeficiente de velocidad (43 plantas útiles).

Cuadro 8. Índices de vigor el día 17 de los diferentes tratamientos pregerminativos aplicados al burío y resultados de la prueba de comparación de promedios de Tukey. CATIE, Turrialba, 2002.

Tratamiento pregerminativo	Valor Germinativo de Czabator	Valor Germinativo de Diavanshir y Pourbeik	Coeficiente de velocidad
Semillas extraídas	71.18 a	42.31 a	43.54 a
Frutos escarificados	6.60 b	6.98 b	19.99 b
Agua T° ambiente (1h)	0.53 b	0.87 b	9.14 d
Agua T° ambiente (12h)	2.62 b	3.20 b	13.57 c
Agua T° ambiente (24h)	1.34 b	0.81 b	9.70 d
Agua caliente 10 seg.	--	--	--
Agua caliente 20 seg.	--	--	--
Agua caliente 30 seg.	--	--	--
Cápsulas escarificadas en húmedo con licuadora	2.02 b	1.51 b	20.60 b
Control	0.58 b	0.73 b	9.16 d

Columnas con la misma letra no presentan diferencias significativas con un 95% de confianza, 20 grados de libertad del error

4.1.2 Ensayo de germinación en el vivero de semillas de burío extraídas y sin extraer, provenientes de cuatro fuentes identificadas.

En el Cuadro 9 se promediaron los valores de temperatura ambiental, humedad relativa y radiación solar registrada entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m.

La temperatura máxima promedio a la que se expusieron las semillas al medio día fue de 28° C, con fluctuaciones entre 21 y 35° C. A esta hora la humedad relativa promedio fue de 60%, con variaciones entre 35 y 90%.

Cuadro 9. Condiciones ambientales del área de propagación bajo techo en el vivero forestal del CATIE durante el ensayo de propagación por semillas de cuatro fuentes identificadas

Factor	N	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana
Temperatura ambiente (° C)	2	25.1	14.5	35.9	25.1
Humedad relativa (%)	2	71.5	36.2	96.7	71.7
Radiación solar (μ moles m^{-2} seg^{-1})	6	56.1	0.7	183.8	49.5

Valores registrados del 23 de marzo al 8 de abril de 2002, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Días 2 al 17 del ensayo

Existen diferencias de germinación altamente significativas entre las fuentes identificadas y entre semillas y el tratamiento control ($p < 0.01$). No hubo diferencias en la germinación de los tres sustratos evaluados ($p > 0.05$). La interacción entre la fuente identificada y el tipo de material (semilla o fruto) fue la única interacción encontrada y altamente significativa ($p < 0.01$). Por esta razón no puede realizarse el análisis comparativo de promedios por la prueba de Duncan para los efectos principales. No hubo variación significativa entre los bloques.

La velocidad de germinación y los índices de vigor calculados, mostraron las mismas diferencias que en los porcentajes de germinación, excepto para el Coeficiente de Velocidad (Anexo 4, Cuadro 4.9), con el que se obtuvieron diferencias debidas al tipo de sustrato. Por esta razón no se incluyen los resultados del índice en el Cuadro 10.

Analizando gráficamente los promedios de germinación de cuatro repeticiones en tres sustratos, para el tratamiento control y semillas, se observó que en cada fuente identificada, los promedios de germinación de las semillas fueron siempre superiores a los promedios en fruto, como era de esperarse. Las Figuras 9 a y b indican que para semillas y el tratamiento control la procedencia de Santiago de Paraíso mostró el mejor porcentaje de germinación acumulado de 62.3% y 50.3%, respectivamente. La procedencia de Veintiocho Millas fue la de más bajo porcentaje de germinación en ambos casos (23.9% y 10.75%, respectivamente).

Las fuentes de Platanillo y CATIE germinaron de forma similar en semilla (aproximadamente 50%), pero en semillas sin extraer los porcentajes de germinación fueron de 44.3 % y 26.4%, respectivamente. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Vazquez-Yanes (1976). Al parecer, la cápsula ha perdido su impermeabilidad después de tres meses de recolección, secado y almacenamiento, en el caso de los lotes de Santiago de Paraíso y Platanillo, pero la cápsula continua siendo impermeable en los lotes de Veintiocho Millas y CATIE, después de 1 a 1.5 meses de almacenamiento, respectivamente, a pesar de que la madurez de la semilla extraída sea similar, como ocurrió con las fuentes de Platanillo y CATIE.

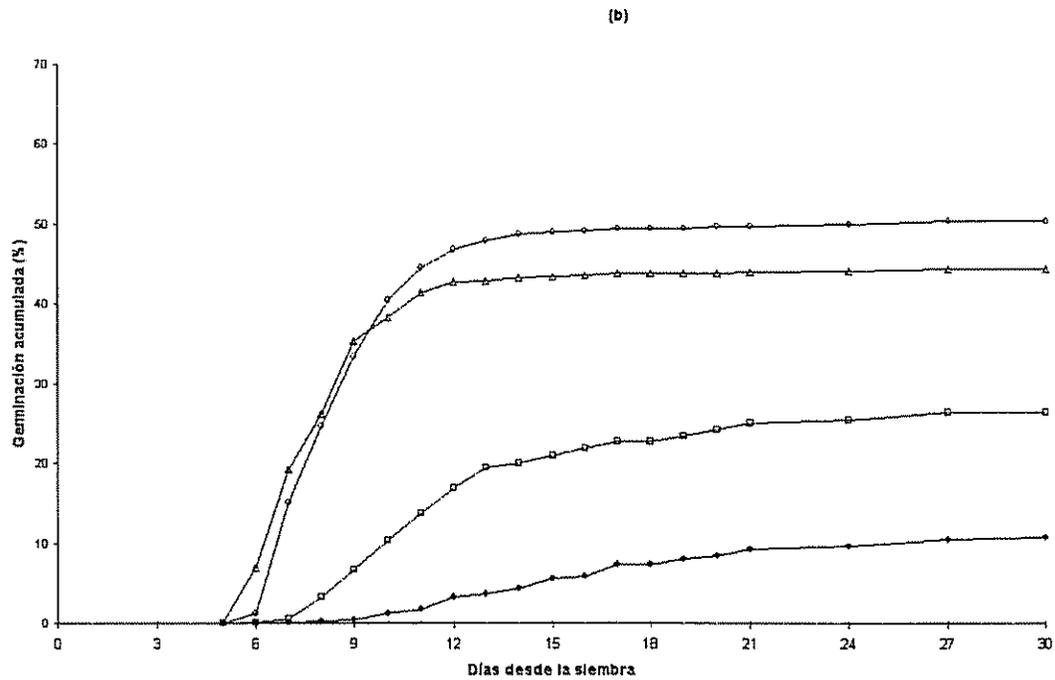
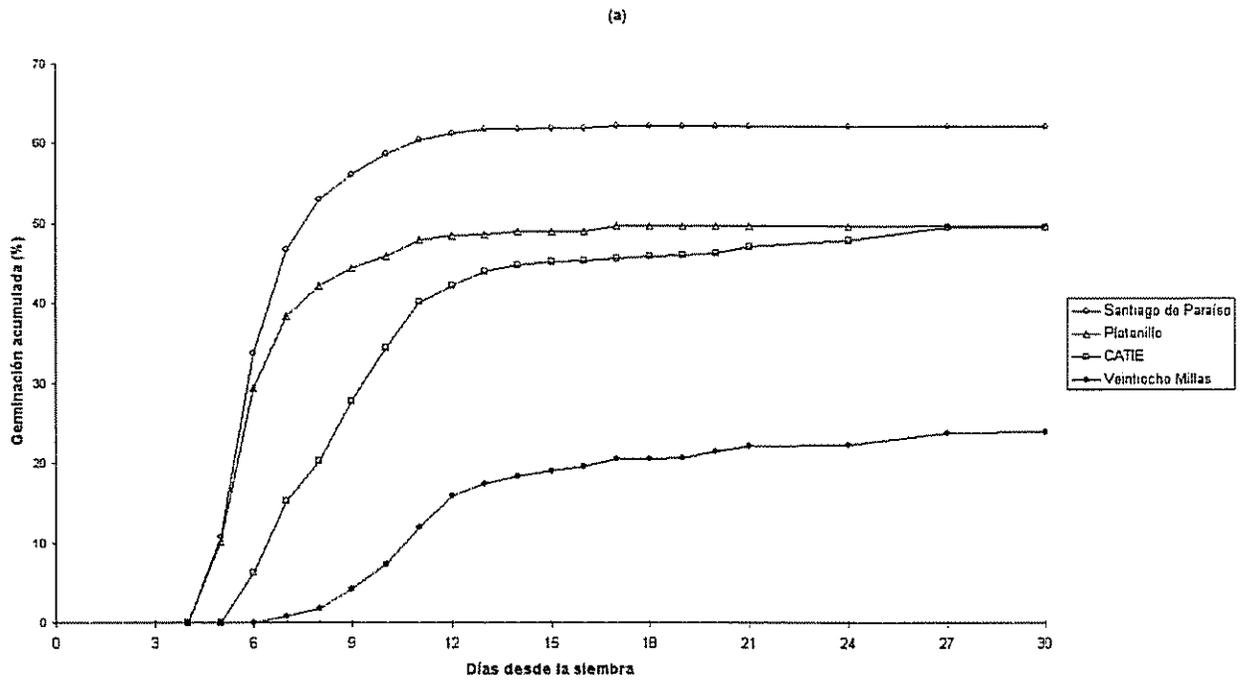


Figura 9. Germinación acumulada de cuatro fuentes identificadas de *H. appendiculatus* en el vivero forestal de Cabiria; a) semillas y b) control. (N = 12). CATIE, 2002.

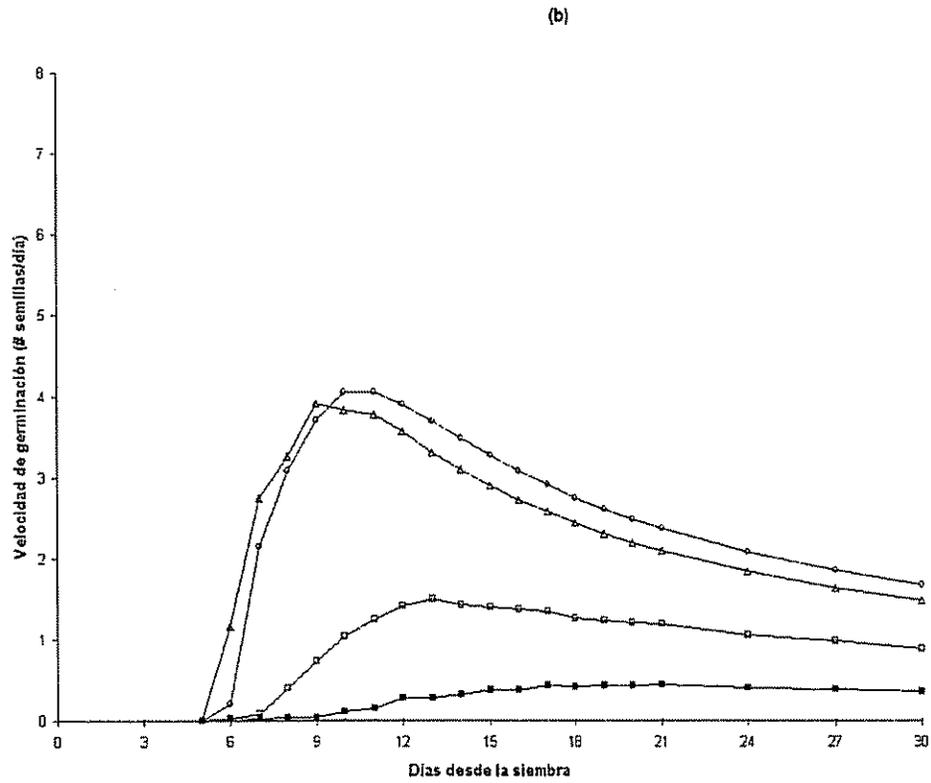
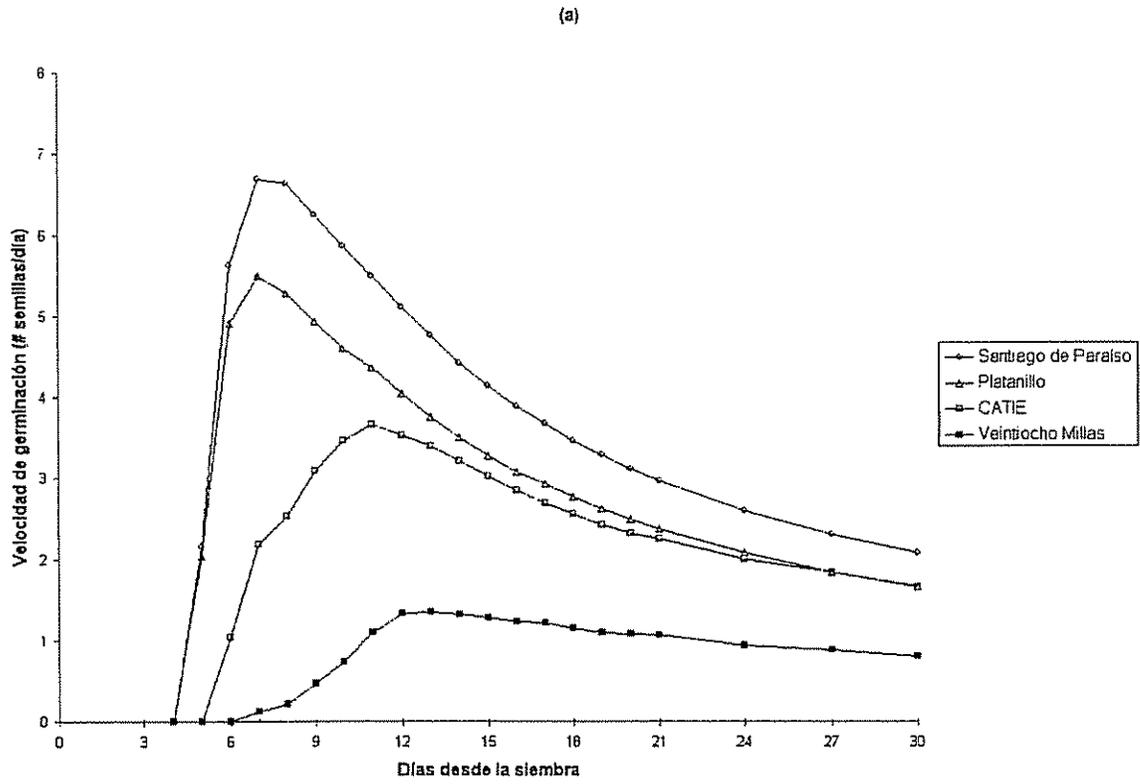


Figura 10. Velocidad de germinación de *H. appendiculatus* en el vivero forestal de Cabiria; a) semillas y b) control. (N = 12). CATIE, 2002.

Estas diferencias podrían ser debidas a que los lotes de frutos utilizados presentaron diferencias en peso de los frutos y las semillas (Anexo 4.2, Cuadro 4.7). La mayor germinación se obtuvo con las semillas de Santiago de Paraíso que fueron las más pesadas (218,200 frutos puros/kg y 13.6% de contenido de humedad) y la menor germinación con las semillas de Veintiocho Millas que fueron las más livianas (311,140 frutos puros/kg y 12.6% de contenido de humedad), lo mismo que ocurrió en semilla (Anexo 4.2, Cuadro 4.8). A simple vista se observó que en la fuente identificada de Santiago de Paraíso un mayor número de semillas no pasó el tamiz de suelo número 18; sin embargo no se contó con material suficiente para estimar el contenido de humedad de las semillas.

Muchos otros factores no controlados pueden haber influido en los resultados como los factores ambientales que afectaron a las plantas madres durante la formación y madurez de las semillas, que pueden afectar su viabilidad después de la recolección de los frutos.

No hay pruebas para afirmar que Santiago de Paraíso es la mejor procedencia de semillas, ya que se tiene un solo sitio identificado y sería necesario un estudio más amplio para llegar a esta conclusión. Además, estos resultados podrían indicar simplemente que las semillas de Santiago de Paraíso se cosecharon más maduras.

Las diferencias en germinación de semillas extraídas y sin extraer en el vivero, son consistentes con las diferencias en germinación obtenidas entre estos dos tratamientos pregerminativos aplicados en el primer experimento.

Cuadro 10. índices de vigor para semillas y el tratamiento control de cuatro fuentes identificadas en condiciones del vivero Forestal del CATIE.

Fuente Identificada	Máx. VDG	Día de máx VDG	VG Czabator	VG Diavanshir & Pourbeik
Semillas				
Santiago de Paraíso	6.68	7	19.80	19.85
Platanillo	5.49	7	12.98	12.75
Veintiocho Millas	1.35	13	1.43	1.52
CATIE	3.65	11	8.19	9.08
Frutos				
Santiago de Paraíso	4.05	11	9.58	10.39
Platanillo	3.92	9	8.21	8.31
Veintiocho Millas	0.44	21	0.19	0.17
CATIE	1.50	13	1.79	1.85

En las Figuras 10 a y b se observan las diferencias en la velocidad de germinación de las semillas y el tratamiento control de las cuatro fuentes identificadas, respectivamente. En las semillas, la velocidad máxima de germinación de la fuente de Santiago de Paraíso continúa siendo superior (aproximadamente 7 semillas / día, el día 7), pero en el tratamiento control las fuentes de Santiago de Paraíso y Platanillo tienen valores similares de aproximadamente 4

semillas/día, los días 11 y 9 respectivamente. El tiempo del ensayo de germinación se reduce con la extracción de las semillas.

4.1.3 Ensayo de germinación en el laboratorio de semillas de burío extraídas y sin extraer, provenientes de cuatro fuentes identificadas.

La determinación de la germinación utilizando la definición del IPGRI resultó con un coeficiente de variación de 43.5%, mientras que con la definición del ISTA se obtuvo un 24.7%, en ambos casos con los datos sin transformar. Estas diferencias pueden ser ocasionadas en gran parte por los tratamientos en papel de filtro, que no favoreció la salida de los cotiledones. La discusión se hizo con base en los resultados de germinación del ISTA con los datos sin transformar (Anexo 4.4, Cuadros Cuadros 4.11 y 4.12), pero se incluye el análisis de varianza para los datos transformados de la germinación, x , con la fórmula $\sqrt{(x+0.5)}$, según la definición de IPGRI en el (Anexo 4, Cuadros 4.13 y 4.14)

Se encontraron diferencias altamente significativas entre los bloques formados dentro de cada cámara, debido probablemente a la heterogeneidad de la humedad relativa en las cámaras. Existieron diferencias altamente significativas en los factores principales ($p < 0.01$) y casi todas las interacciones, hasta de quinto grado. Utilizando la Diferencia Mínima significativa de Fisher, se pudo establecer que 43 de los 288 tratamientos, con porcentajes de germinación mayores o iguales a 64.7% no difirieron estadísticamente (Cuadro 11).

Sin olvidar que las interacciones fueron altamente significativas, de los primeros cinco promedios de porcentaje de germinación, tres de estos correspondieron a la fuente identificada en CATIE (uno de ellos en semilla sin extraer) y dos a la fuente identificada en Santiago de Paraíso.

El 91 % de los mejores tratamientos correspondieron a experimentos con extracción de la semilla. Aunque la mejor germinación de semillas se logró con la fuente identificada de CATIE, más de la mitad de los mejores tratamientos corresponden a la fuente identificada de Santiago de Paraíso. Esta diferencia respalda los resultados obtenidos en el ensayo de germinación en el vivero (ver ítem 4.1.2 y Anexo 4, Cuadro 4.7), pero no puede inferirse una preferencia en particular por las temperaturas ensayadas, los periodo de luz o los sustratos utilizados.

La semilla extraída de Santiago de Paraíso fue la única que se presentó entre los mejores porcentajes de germinación con una temperatura constante de 15° C. Se presume que la semilla de Santiago de Paraíso tolera mejor las bajas temperaturas, ya que proviene de unas condiciones donde se tiene la temperatura media promedio más baja de todas las fuentes ensayadas (19.5° C, Ver Cuadro 2). Sin embargo, esto no significa que requieran estas condiciones de sus lugares de origen para obtener mejores resultados, pues esta fuente

también obtuvo buenos porcentajes de germinación con cambios de temperatura cada 12 horas, de 30° C a 15° C y a temperaturas constantes de 30° C.

Cuadro 11. Resumen de los mejores promedios del ensayo de germinación de semillas de burio (*H. appendiculatus*) en el Laboratorio (CATIE, 2002), provenientes de cuatro fuentes identificadas.

Cámara		Sustrato	Semillas				Control			
Temp.	Luz		Santiago de Paraiso	Platanillo	CATIE	Veintiocho Millas	Santiago de Paraiso	Platanillo	CATIE	Veintiocho Millas
15° C	0 (horas/día)	Arena	71.3							
		Tierra	76.7							
		Arena+Tierra	80.7							
		Papel Filtro	74.7							
	12 (horas/día)	Arena								
		Tierra	76							
		Arena+Tierra								
		Papel Filtro								
	24 (horas/día)	Arena								
		Tierra	64.7							
		Arena+Tierra	65.3							
		Papel Filtro								
15/30 ° C	0 (horas/día)	Arena	67.3		74.7	70.7			72	69.3
		Tierra	70.7		81.3	68			72	
		Arena+Tierra	68	68	76	66.7			77.3	
		Papel Filtro								
	12 (horas/día)	Arena	80.7							
		Tierra								
		Arena+Tierra	66.7							
		Papel Filtro	69.3			65.3				
	24 (horas/día)	Arena	72.7							
		Tierra				66				
		Arena+Tierra	70.7							
		Papel Filtro	74			70				
30° C	0 (horas/día)	Arena								
		Tierra								
		Arena+Tierra								
		Papel Filtro	67.3		70.7					
	12 (horas/día)	Arena	66.7			71.3				
		Tierra								
		Arena+Tierra	72.7							
		Papel Filtro	66.7			70.7				
	24 (horas/día)	Arena	70.7							
		Tierra								
		Arena+Tierra	65.3							
		Papel Filtro	71.3	64.7	82	66.7				

Nota: Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones
Los números en negrilla corresponden a los cinco valores más altos, sin que existan diferencias significativas entre ninguno de los valores anotados en el Cuadro

Aunque el tratamiento de semillas sin extraer de CATIE en la cámara con 0 horas de luz y cambios de temperatura de 15° C a 30° C cada 12 horas se ubicó entre los mejores cinco promedios, sólo 4/43 tratamientos de semillas sin extraer (control) aparecieron entre los mejores promedios.

Se presentaron diferencias altamente significativas entre los sustratos, pero fue la variable independiente que menos aportó a la suma de cuadrados del modelo estadístico. No se observa una preferencia por un sustrato en particular. La arena no tuvo problemas de contaminación con hongos *Trichoderma sp*, un hongo saprófito que no afecta los resultados de germinación y que ha sido utilizado como controlador biológico de otros hongos del suelo causantes de enfermedades (Páez y Vargas, 1975; Tovar, 1989; Hoitink *et al.*, 1996). Esto ocurrió con los sustratos de tierra y arena:tierra. El sustrato de papel se secaba rápidamente, por lo que fue necesario rociar con agua diariamente.

Cuadro 12. Frecuencia de los mejores promedios de porcentajes de germinación de *H. appendiculatus* en las cámaras con luz y temperatura controladas. CATIE, Turrialba, 2002.

Temperatura	Luz diaria			Total/ Temperatura
	0 horas	12 horas	24 horas	
15° C	4	1	2	7
15/30° C	14	4	5	23
30° C	2	5	6	13
Total/Luz día	20	10	13	43

Nota: Los cambios de temperatura en los tratamientos de 15/30° C con luz las 24 horas se hicieron manualmente

En cuanto a las combinaciones programadas de luz y temperatura, 14/43 de los mejores resultados de germinación se obtuvieron con cambios de temperaturas cada 12 horas de 30° C a 15° C y con 0 horas de luz diarias. Además es en esta combinación donde estuvieron representadas todas las fuentes semilleras identificadas, incluyendo los controles que se utilizaron (Cuadro 12).

Es posible que los resultados sean diferentes si se ensayan diferentes tiempos de duración de la temperatura más alta. En *H. donell-smithii*, el mejor resultado se obtuvo con el tratamiento de altas temperaturas aplicado por seis horas. Los tratamientos con temperaturas altas por más tiempo ocasionaron mortalidad en las plántulas (Vazquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1982).

No hay pruebas para afirmar que las diferencias en la germinación del burio se deban a un tratamiento específico de temperatura, como concluye Vazquez-Yanes (1976), pues los efectos principales y la mayoría de las interacciones de todas las variables analizadas fueron importantes en las diferencias de la germinación. Además, la temperatura óptima es un concepto relativo, pues los tratamientos con temperaturas alternadas puede aparentemente ampliar el rango en el cual la germinación ocurre, pero no está claro si la temperatura óptima

está cambiando. Cuando estos cambios se combinan con cambios de luz la interpretación es más difícil aún (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1975)

En este ensayo se comprobó que la especie germinó en todas las fuentes identificadas a una temperatura de 15° C, un grado más bajo que la temperatura mínima para germinar en los ensayos realizados por Vazquez-Yanes (1976).

La semilla de todas las procedencias germinó en los tratamientos de oscuridad total, aunque las plántulas se observaron con un alargamiento de 5 a 12 veces más que una planta normal. En condiciones de laboratorio, la germinación del *H. appendiculatus* fue indiferente a la luz blanca, roja, roja lejana o la oscuridad (Vazquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996). Es frecuente que semillas cultivadas germinen en la oscuridad; muchas semillas no necesitan luz para germinar y logran hacerlo estando enterradas en el suelo.

En conclusión, las temperaturas óptimas para las fuentes que resultaron superiores fueron con temperaturas alternas de 30 y 15° C cada 12 horas. Los tratamientos con 0 horas de luz resultaron mejores, aunque las plántulas naturalmente se etilaron por la falta de luz. Bajo condiciones controladas, es más conveniente un fotoperíodo de 12 horas, que produce plantas normales y permite programar los cambios de temperatura en las cámaras tipo GRAM, sin necesidad de simular las condiciones de sombra dentro de una bolsa plástica negra como se hizo en este caso. Además el trabajo de Vazquez-Yanes (1976) concluye que no existen diferencias en la germinación debidas a las horas luz. La arena es el sustrato de germinación más adecuado, por la facilidad para esterilizarlo. Es posible que ensayando otras combinaciones de temperaturas altas durante unas cuantas horas, se mejoren los porcentajes de germinación obtenidos en este ensayo. Por el funcionamiento de las cámaras tipo GRAM del BSF, las altas temperaturas deben estar ligadas a los periodos de luz, para evitar el problema de hacer los cambios manualmente.

En futuros ensayos, es necesario comprobar si las diferencias en la germinación de las cuatro fuentes identificadas de semillas son debidas a la madurez o si existen otras diferencias entre los sitios.

4.1.4 Ensayo de almacenamiento y desecación de frutos de burío (*H. appendiculatus*)

En el Cuadro 13 se resumen los promedios de contenido de humedad de dos muestras de frutos (ISTA, 1996), que fueron realizadas al momento de comenzar los ensayos de germinación.

Los valores estimados de contenido de humedad de los frutos muestran que el polietileno de baja densidad, calibre 2, con cierre hermético no evitó la ganancia de humedad de los frutos desecados a cualquier contenido de humedad y en todas las cámaras ($p < 0.01$) después del

desalmacenamiento ($p < 0.05$). Las cámaras de almacenamiento son las mayores responsables de la ganancia del contenido de humedad observándose el mayor cambio en las semillas almacenadas a temperatura ambiente (Figura 11 y 12).

Cuadro 13. Contenido de humedad de frutos de burío antes y después del almacenamiento.

Cámara	Contenido de humedad		
	Inicial	3 meses	6 meses
27.6°C	12.8%	13.0%	14.2% (9.2%)
	9%	11.3%	12.6% (10.2%)
	4.4%	11.4%	12.8% (9.3%)
15°C	12.8%	11.3%	11.3% (10.7%)
	9%	9.3%	8.9% (10.3%)
	4.4%	8.4%	7.8% (9.8%)
5°C	12.8%	12.5%	13.4% (9.7%)
	9%	9.2%	9.7% (9.7%)
	4.4%	7.2%	7.9% (9.9%)
-17°C	12.8%	13.1%	14.5% (10.0%)
	9%	10.1%	9.5% (10.0%)
	4.4%	5.5%	5.8% (9%)

Nota: los números entre paréntesis indican el contenido de humedad de la semilla a los seis meses, después de ser extraídas en húmedo y secadas durante 36 horas a 30° C.

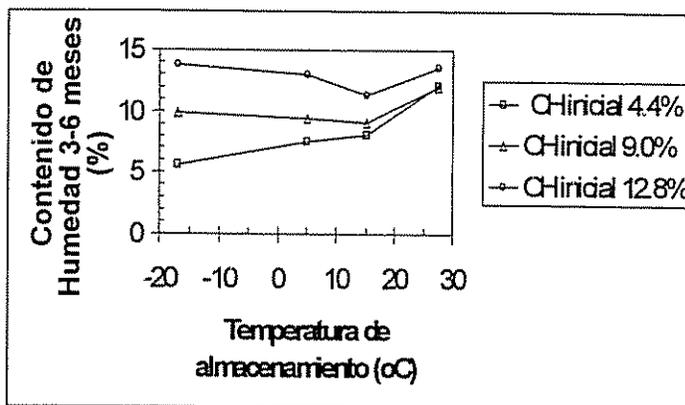


Figura 11. Almacenamiento y desecación de frutos de burío (*Heliocarpus appendiculatus*). Comportamiento promedio del contenido de humedad después de seis meses de almacenamiento en las cámaras de -17° C, 5° C, 15° C y a temperatura ambiente. Turrialba, CATIE, 2002.

En las cámaras controladas los frutos desecados a 9% de contenido de humedad, antes del almacenamiento, estuvieron muy próximas a las condiciones de equilibrio para esta semilla, como se comprueba con los frutos desecados por debajo y por encima de este valor (Figura 11) que tienden a un contenido de humedad aproximado al 9%, con un aumento en la temperatura de almacenamiento desde -17°C hasta los 15°C .

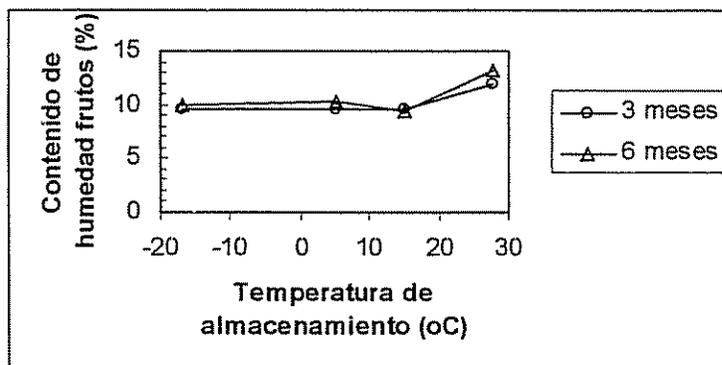


Figura 12. Almacenamiento y desecación de frutos de burío (*Heliocarpus appendiculatus*). Comportamiento promedio del contenido de humedad (CH) de los frutos a los tres y seis meses de almacenamiento en las cámaras de -17°C , 5°C , 15°C y a temperatura ambiente. Turrialba, CATIE, 2002.

4.1.4.1 Resultados de germinación, velocidad de germinación y vigor de las semillas antes del almacenamiento

En el Cuadro 14 se observa que con la desecación de los frutos se obtuvo un porcentaje de germinación y una velocidad de germinación promedio (VGD) de las semillas sin diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$). El porcentaje de germinación de todo el ensayo fue de 39% y la velocidad de germinación de 2.6 semillas por día, antes del almacenamiento. Los bajos resultados de germinación de la semilla antes de almacenar y desecada a 4.4%, 9% y 12.8%, no la hacen una candidata aceptable para pensar en el almacenamiento de este lote. Sin embargo, se continuó el análisis.

Los índices que involucran porcentaje y la velocidad de germinación, encuentran que el vigor de las semillas extraídas en húmedo de los frutos desecados a 4.4% es superior (entre 19 y 20 plantas útiles para ser sembradas en el campo) al vigor de semillas con contenidos de humedad de 9 y 12.8% (Cuadro 14).

Los frutos soportaron la desecación a bajos contenidos de humedad. El corto tiempo entre la reducción del contenido de humedad y el ensayo de germinación no produjeron daños aparentes en la calidad ni en el vigor de las semillas.

En conclusión, la germinación, la velocidad de germinación y los índices de vigor (Czabator, Diavanshir & Pourbeik y Coeficiente de Velocidad) para semillas de burío recién cosechadas no son afectadas por la desecación de los frutos.

Cuadro 14. Resultados de germinación, velocidad de germinación y vigor de semillas de burío, antes del almacenamiento. CATIE, 2002 (N = 4)

Contenido de Humedad de los frutos	Germinación (%)	VGD (semillas / día)	VG Czabator	VG Diavanshir & Pourbeik	Coeficiente de velocidad
4.4%	43.5 a	2.9 a	19.0 a	19.9 a	19.6 a
9.0%	36.8 a	2.5 a	11.5 b	12.5 b	16.7 b
12.8%	36.8 a	2.5 a	8.6 b	10.3 b	13.2 c

VGD = Velocidad de Germinación Diaria, VG = Valor de Germinación.

Columnas con la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%.

4.1.4.2 Resultados de germinación de semillas después del almacenamiento

Los resultados de los análisis de varianza para el porcentaje de germinación mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), debidas al periodo de almacenamiento y todas las interacciones donde el periodo de almacenamiento estuvo involucrado. Ya que la interacción entre la cámara de almacenamiento y el contenido de humedad no fue significativa, fue posible graficar las interacciones de estas variables con el periodo de almacenamiento (Figuras 13 y 14). Los efectos simples de las variables contenido de humedad y temperatura de almacenamiento no mostraron diferencias significativas en el porcentaje de germinación ($p > 0.05$).

Considerando que antes del almacenamiento no hubo diferencias en el porcentaje de germinación en los tres contenidos de humedad analizados, estos resultados sugieren que la semilla es ortodoxa, pues las semillas desecadas a 4.4% y almacenadas a -17° C continúan germinando después de seis meses, a pesar de ser el único contenido de humedad que presenta un deterioro en la germinación, después de seis meses de almacenamiento.

Con el procedimiento de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher para la germinación y los índices de vigor, se obtuvo que las condiciones óptimas de almacenamiento los primeros seis meses son 15° C y 9% de CH (Cuadro 15).

En primer lugar, los contenidos de humedad de las semillas almacenadas por seis meses, después de ser extraídas en húmedo (Hernández, 1989) y secadas durante 36 horas a 30° C, fueron muy semejantes al contenido de humedad de los frutos almacenados a 9% de contenido de humedad (Cuadro 13, columna 4: números entre paréntesis) y parece no haber afectado tanto a los embriones, porque fue el contenido de humedad que menos cambios presentó con el tiempo.

En segundo lugar, la cámara de 15° C es la que obtiene los mejores porcentajes de germinación, en todos los contenidos de humedad, seis meses después del almacenamiento (Figura 13). En otras especies que toleran la desecación, pero no resisten el almacenamiento en temperaturas bajo 0° C ensayadas en el BSF del CATIE, también se han obtenido los mejores resultados con semillas almacenadas durante seis meses en la cámara de 15° C, y (*Vochysia guatemalensis*: Salazar *et al.*, s.p.³⁰; *V. ferruginea*: Vásquez *et al.*, s.p.)³¹ Esto puede estar indicando que los frutos de burío con un contenido de humedad de 9% encuentran unas condiciones cercanas al equilibrio en la cámara de 15° C, que tiene una humedad relativa de 45%. Una humedad relativa baja es muy conveniente para evitar la presencia de enfermedades en semillas ortodoxas (Macdonald, 1986), aunque este equilibrio también está determinado por los contenidos de proteínas, lípidos, almidones y celulosa de las semillas (Harrington, 1972; Mayer y Poljakoff-Mayber, 1975; Gouvea, 1983).

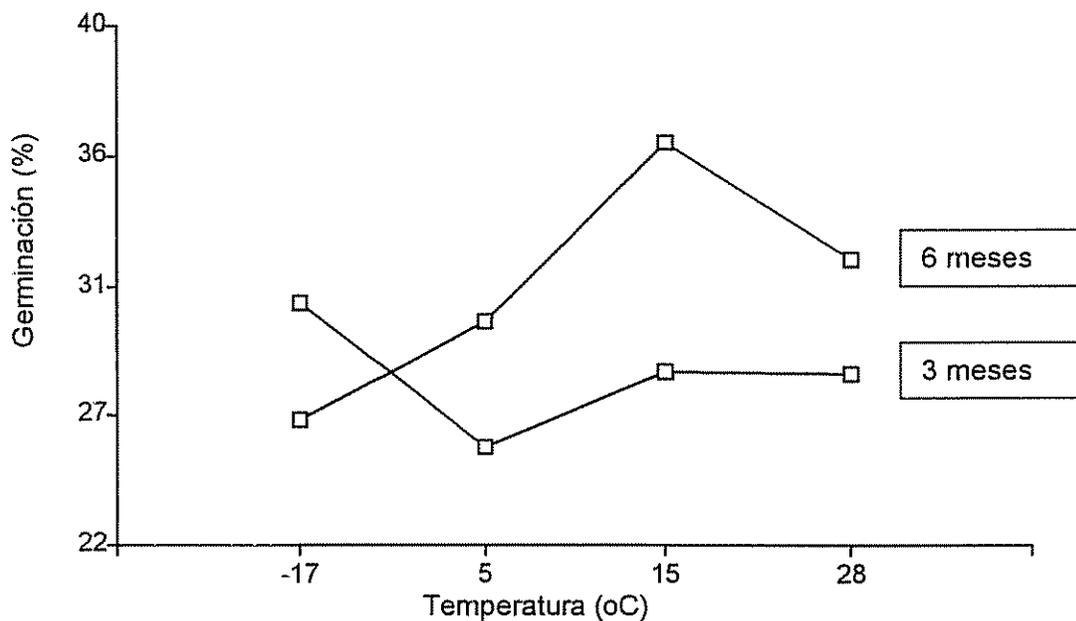


Figura 13. Comportamiento de la germinación de semillas de burío (*H. appendiculatus*) dependiendo de la temperatura y el periodo de almacenamiento de los frutos. Interacciones significativas al 95% de confianza.

En tercer lugar, los frutos almacenados a 9% de contenido de humedad presentan los mejores resultados de germinación seis meses después del almacenamiento (Figura 14). Debe advertirse que las semillas almacenadas con un 9% de contenido de humedad mostraron las

³⁰ Salazar, R; Vásquez, W; Thomsen, K.A. S.p. Seed Storage behavior of *Vochysia guatemalensis*.

³¹ Vásquez, W; Salazar, R; Thomsen, K.A. S.p. Drying and storing *Vochysia ferruginea* seeds

peores germinaciones a los tres meses de almacenamiento y las mejores germinaciones a los seis meses en todos los tratamientos, cuando el comportamiento normal que se espera en las semillas almacenadas es un deterioro progresivo (Gouvea, 1983), pero esta interacción debe destacarse, pues aporta casi la mitad de la suma de cuadrados del modelo. Muchas semillas mejoran su capacidad de germinación con el tiempo, debido a que requieren un periodo de posmaduración para lograr el desarrollo del embrión o algunos cambios químicos internos (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1975). Vazquez-Yanes (1976) encontró que las semillas almacenadas durante un año germinaron mejor que las semillas recién recolectadas y lo relacionó con el hecho de que la testa de la semilla pierde la capacidad de inducir a la latencia.

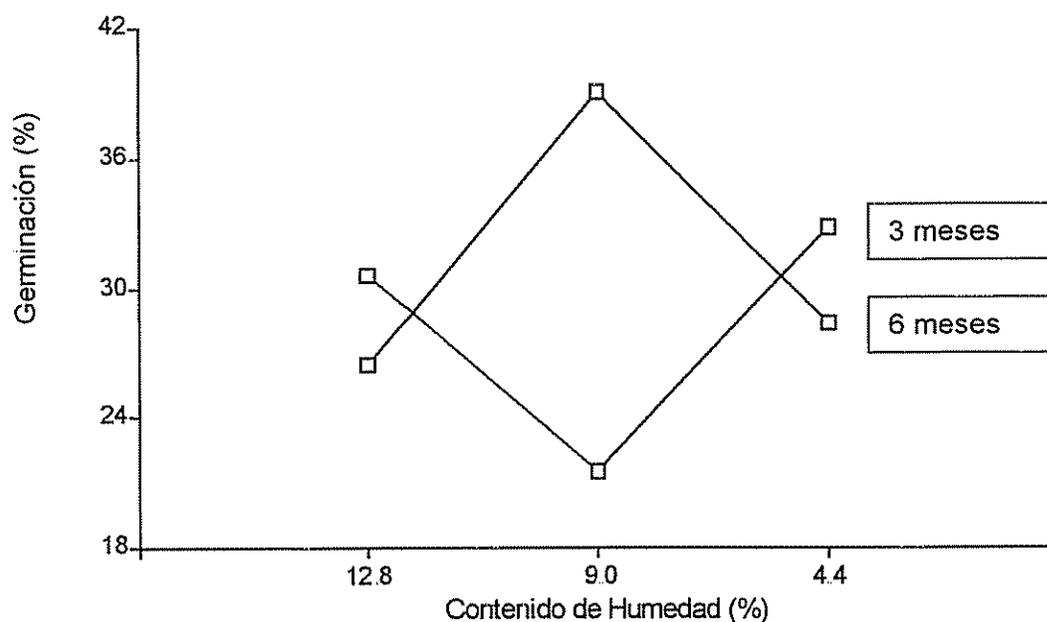


Figura 14. Comportamiento de la germinación de semillas de burío (*H. appendiculatus*) dependiendo del contenido de humedad y el periodo de almacenamiento de los frutos. Interacciones altamente significativas con un 95% de confianza.

Cuadro 15. Ensayo de desecación y almacenamiento de *Heliolepis appendiculatus*. Resultados de porcentajes de germinación e índices de vigor \pm D.E. a los 3 y 6 meses de almacenamiento. CATIE, 2002.

CH frutos	Germinación		VGD		VG Czabator		VG Diavanshir & Pourbeik		Coeficiente de Velocidad										
	3 meses	6 meses	3 meses	6 meses	3 meses	6 meses	3 meses	6 meses	3 meses	6 meses									
Cámara de -17°C																			
4.4 %	6.1	27.8	11.1	2.48	0.40	1.85	0.74	7.50	1.67	7.20	5.70	7.73	1.91	7.95	6.61	11.52	1.09	17.04	1.85
9.0 %	3.8	33.0	2.2	1.25	0.33	2.10	0.26	1.71	0.79	9.12	3.32	1.62	0.86	9.16	2.69	9.44	0.68	16.86	1.92
12.8 %	3.1	19.0	5.2	1.58	0.21	1.22	0.28	3.35	0.95	1.79	0.78	3.73	0.94	2.14	0.80	12.16	1.15	11.67	0.98
Cámara de 5°C																			
4.4 %	5.1	23.8	7.1	2.03	0.36	1.55	0.46	4.46	1.36	5.05	3.36	4.18	1.23	5.52	3.46	9.66	0.29	17.06	1.36
9.0 %	1.8	42.5	4.5	0.72	0.14	2.78	0.32	0.56	0.21	13.34	3.47	0.63	0.28	15.02	3.72	9.55	0.99	15.58	0.32
12.8 %	7.7	23.5	4.7	1.92	0.55	1.55	0.34	5.32	2.60	3.65	1.60	6.05	3.07	4.00	2.08	12.60	1.24	13.23	1.57
Cámara de 15°C																			
4.4 %	2.2	30.3	5.9	2.13	0.14	2.00	0.39	4.89	0.81	9.46	3.72	4.75	0.65	9.46	3.64	9.68	0.31	19.95	1.44
9.0 %	14.4	48.0	7.1	0.90	1.00	3.17	0.50	1.59	2.78	23.42	10.12	1.62	2.83	22.50	8.19	10.42	1.23	19.28	1.49
12.8 %	6.8	29.5	9.0	1.97	0.35	1.93	0.61	5.59	1.45	6.07	3.51	6.19	1.58	7.18	4.52	13.28	1.02	14.22	1.20
Temperatura ambiente ($\pm 27.6^{\circ}\text{C}$)																			
4.4 %	9.9	31.0	5.2	1.70	0.61	2.07	0.34	3.50	2.49	8.73	2.57	3.88	3.22	9.43	3.12	10.34	1.10	18.09	1.04
9.0 %	11.6	31.5	6.0	1.57	0.77	2.10	0.40	3.24	3.23	11.12	4.16	3.03	2.94	10.32	3.90	9.72	0.86	20.04	2.61
12.8 %	3.0	33.5	11.2	1.82	0.40	2.22	0.75	5.53	2.40	8.08	4.95	5.94	2.63	9.26	5.25	13.94	1.40	14.45	1.77

D.E. Desviación Estándar

Números en negrilla para germinación e índices de vigor no presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) en cada uno de ellos de acuerdo con la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher.

4.1.5 Cosecha por árbol

Se hizo una estimación de la cosecha de frutos en Veintiocho Millas, donde se obtuvo la germinación de los frutos más baja, 10.75% en el vivero, con un lote almacenado con 12.6% humedad (Anexo 4, Cuadro 4.7): un árbol produce en promedio una cosecha de 511,190 frutos, de los cuales 55,000 semillas son viables, con un error estándar de 5,390 y un coeficiente de variación del 10% (Anexo 6).

El almacenamiento de un lote con la baja germinación no es factible económicamente, por los costos de recolección, procesamiento y almacenamiento. Una alternativa que debería evaluarse para obtener una fuente permanente de corteza en zonas cañeras sería favorecer la regeneración de esta especie en los bosques secundarios aledaños donde está presente el burío. Sería interesante probar si esta especie es susceptible al fuego, pues los frutos de Santiago de Paraíso no soportaron ni 10 segundos el contacto con el agua caliente (ver ítem 4.1.1), aunque este resultado no concuerda con lo encontrado por Vazquez-Yanes (1976), quien obtuvo germinación de las semillas de *H. appendiculatus* sumergidas en agua caliente durante 1 minuto.

4.2 Propagación por estacas

El enraizamiento de estacas de burío alcanzado con los experimentos diseñados ha sido muy pobre. Un buen enraizamiento se considera cuando es superior al 70% (Leakey, 1987). En el mejor de los casos las estacas no sobrepasaron el 47% de enraizamiento.

4.2.1 Efecto de cuatro dosis de AIB y cuatro sustratos sobre el enraizamiento y la sobrevivencia de estacas de burío (*H. appendiculatus*)

La mayoría de las hojas de las estacas del primer experimento, se necrosaron y se desprendieron en menos de tres días, independientemente del tratamiento utilizado, con algunas diferencias entre los distintos bloques. Las condiciones ambientales en el momento de la cosecha no fueron muy favorables, por tratarse de días soleados y sin lluvias, pero dentro de los propagadores no se llegó a condiciones extremas de temperatura y humedad relativa, al menos en los tres primeros días después de la siembra, que es considerado el periodo crítico para estos ensayos (Cuadro 16). Se sugirió que la forma de transportar las estacas había producido estas diferencias, pero al repetir el experimento no se consiguió mejorar los resultados.

Cuadro 16. Ensayo de propagación de estacas de burío en cuatro sustratos y cuatro concentraciones de AIB. Condiciones ambientales de los propagadores de sub-irrigación los días 1 al 14 del ensayo, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal, CATIE, 2002.

Factores ambientales registrados	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana
Temperatura Sustratos (°C) ⁽¹⁾				
Arena	22.5	8.4	24.7	22.6
Aserrín	23.0	20.0	26.1	23.2
Arena + aserrín	26.4	20.6	35.4	26.4
Grava	26.8	21.5	70.0	26.0
Temperatura hoja (°C) ⁽¹⁾	26.1	16.3	32.3	27.0
Radiación solar (μ moles m^{-2} seg^{-1}) ⁽²⁾				
Tapa cubierta con sarán ⁽³⁾	20.7	0.03	330.2	13.3
Tapa sin sarán	25.6	0.02	185.4	23.0
Humedad relativa (%) ⁽¹⁾	94.6	1.9	100.0	96.5
Temperatura ambiente ⁽¹⁾ (°C)	25.7	5.5	35.4	24.5

(1) N = 2, (2) N = 6, (3) primeros 10 días

Nota: la temperatura ambiental se refiere a la temperatura dentro del propagador
Registros del 26 de abril al 10 de mayo de 2002

Se sospecha que la concentración de la hormona y el tiempo de inmersión podrían haber causado alguna toxicidad en estas estacas de 6 cm de longitud. El tiempo de inmersión (10 segundos), el metanol puro (99.8%) fue excesivo, pues la experiencia del vivero con inmersión rápida y utilizando un ventilador para evaporar el exceso de alcohol siempre ha dado buenos resultados (Mesén, 1998). Se utilizó 10 segundos de inmersión para tratar de que la hormona penetrara mejor, por el mucílago que brotaba de la base de las estacas.

El necrosamiento casi inmediato de las hojas, indican que la baja irradiación fue limitante para iniciar la fotosíntesis en las estacas. Por lo tanto, se espera que las estacas necesiten mucho más del 20.7μ moles m^{-2} seg^{-1} de irradiación, $\pm 1\%$ de RAFA máxima obtenida a medio día en un día a pleno sol, pero mucho menos que 500μ moles m^{-2} seg^{-1} , 25% de RAFA máxima, donde se presentó el punto de saturación lumínica para plántulas de burío creciendo bajo sombra parcial (Fetcher *et al.*, 1987), según las recomendaciones de Leakey (1985) para que las estacas enraícen.

4.2.2 Efecto de formas de aplicación de AIB en dos sustratos sobre la sobrevivencia y el porcentaje de enraizamiento de estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.)

Las condiciones ambientales registradas durante el ensayo se resumen en el Cuadro 17. Estas condiciones se encuentran en los rangos tolerables para las plantas tropicales. La radiación solar promedio fue aproximadamente el doble que la registrada en el primer experimento, 39.5μ moles m^{-2} seg^{-1} , pues no se puso sarán encima de las tapas de los propagadores, esperando

que la cantidad de luz no fuera limitante para iniciar la fotosíntesis, según lo reportado por Küppers *et al.* (1996)

Cuadro 17. Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Condiciones ambientales de los propagadores de sub-irrigación, días 1 a 30 del ensayo, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal CATIE, 2002.

Variable registrada ⁽¹⁾	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana
Humedad Relativa (%)	92.4	74.7	100	93.2
Temperatura ambiental (°C)	27.5	15.4	43.5	27.1
Temperatura sustrato (°C)				
Arena	24.8	20.9	31.1	24.7
Grava	25.8	22.1	31.1	25.7
Temperatura foliar (°C)				
Arena	24.0	14.1	35.5	23.5
Grava	24.4	14.1	37.2	24.1
Radiación solar (μ moles m⁻² seg⁻¹)	39.5	0.0	235.3	31.5

(1) N = 2

Registros del 25 de junio al 24 de julio de 2002

4.2.2.1 Sobrevivencia

En este ensayo sobrevivieron 53 de las estacas 160 estacas del ensayo completo, un 33.1% del total, estos resultados no mostraron un comportamiento normal debido al elevado número de estacas que murieron. En el análisis de varianza no se encontraron diferencias en la sobrevivencia debidas al tipo de sustrato utilizado ni a la forma de aplicación del AIB, aunque a simple vista se observó una alta mortalidad en el sustrato de arena. Tampoco existió interacción entre el sustrato y la forma de aplicación de la hormona, quizás debido al bajo número de repeticiones (Cuadro 18).

Cuadro 18. Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Número y porcentaje de estacas vivas de burío (*H. appendiculatus*) por tratamiento, 35 días después de la siembra. Vivero forestal CATIE, 2002.

% AIB [concentración de metanol]	Tiempo de aplicación	Sustrato		Total
		Arena	Grava	
0.5% [100%]	1 segundo	5 (25%)	9 (45%)	14 (35%)
0.5% [100%]	10 segundos	2 (10%)	7 (35%)	9 (22.5%)
0.5% [50%]	1 segundo	3 (15%)	10 (50%)	13 (32.5%)
0.3% en talco		7 (35%)	10 (50%)	17 (42.5%)
Total		17 (21.25%)	36 (45%)	53 (33.125%)

Nota: el valor presentado corresponde a la suma de cuatro repeticiones con 5 estacas cada una

Se decidió emplear el procedimiento de Chi-cuadrado, obteniéndose un valor de 10.18 con una probabilidad de 0.0014; esto es, existe una asociación entre la sobrevivencia de las estacas y los sustratos (Cuadro 19). Sobrevivieron dos estacas en grava por cada estaca viva en arena

Cuadro 19. Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Datos combinados de número de estacas de burío (*H. appendiculatus*), vivas y muertas, en dos sustratos. Vivero forestal CATIE, 2002

Sustrato	Vivas	Muertas	Total
Arena	17 (10.63%)	63 (39.38%)	80 (50%)
Grava	36 (22.50%)	44 (27.50%)	80 (50%)
Total	53 (33.13%)	107 (66.88%)	160 (100%)

4.2.2.2 Enraizamiento

Los resultados de enraizamiento tampoco mostraron diferencias entre los sustratos, la forma de aplicación del AIB o sus interacciones. El enraizamiento fue bajo, por lo que no se consideró necesario un análisis de Chi-cuadrado (Cuadro 20).

Cuadro 20. Ensayo de propagación de estacas de burío en dos sustratos y cuatro formas de aplicación de la hormona. Número y porcentaje de estacas enraizadas de burío en los tratamientos combinados. Vivero forestal CATIE, 2002.

% AIB [concentración de metanol]	Tiempo de inmersión	Estacas enraizadas		Total
		Arena	Grava	
0.5% [100%]	1 segundo	3 (15%)	3 (15%)	6 (15%)
0.5% [100%]	10 segundos	1 (5%)	5 (25%)	6 (15%)
0.5% [50%]	1 segundo	1 (5%)	1 (5%)	2 (5%)
0.3% en talco		3 (15%)	4 (20%)	7 (17.5%)
Total		8 (10%)	13 (16.3%)	21 (13.1%)

Nota: el promedio corresponde a cuatro repeticiones de 5 estacas cada una.

4.2.3 Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz sobre la sobrevivencia, el enraizamiento y el número de raíces de estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.)

Las condiciones ambientales registradas durante el ensayo se resumen en el Cuadro 21. La temperatura no fue excesiva y la humedad relativa se mantuvo alta la mayor parte del tiempo. La temperatura de la hoja no disminuyó con el polietileno pintado de blanco, como lo reporta

Loach (1977) y la temperatura del suelo tampoco. Por lo tanto, el polietileno pintado de blanco no mejora las condiciones para favorecer el enraizamiento del burío.

Ninguna de las variables analizadas se comportó normalmente, debido a que la respuesta de las estacas a muchos tratamientos diseñados fue nula. Dado que el tamaño de la muestra es grande, 81 grados de libertad del error, el hecho de que no se cumplan los supuestos de normalidad de los datos no es relevante para continuar con el análisis. Las respuestas medidas en porcentaje no mejoraron el ajuste con la transformación $\arcsen \sqrt{x}$, donde x es sobrevivencia o enraizamiento, por lo cual se analizaron los resultados sin transformar. La sobrevivencia depende en primer lugar de la longitud de la estaca; el enraizamiento y el número de raíces dependen más de la forma como se aplica el AIB. La evaluación final se hizo 30 días después de la siembra.

Cuadro 21. Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz sobre la sobrevivencia, el enraizamiento y el número de raíces de estacas de burío: condiciones ambientales de los propagadores de sub-irrigación los días 7 al 23 del ensayo, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal CATIE, 2002

Variables registradas	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana
Humedad relativa (%) ⁽¹⁾	91.2	75	97	92.1
Temperatura ambiental (°C) ⁽¹⁾	26.4	15.4	35.5	26.1
Radiación solar (μ moles $m^{-2} \text{seg}^{-1}$) ⁽¹⁾				
Polietileno transparente	77.9	0.2	475.9	51.3
Polietileno con pintura blanca	42.6	0.1	219.4	29.4
Temperatura foliar (°C) ⁽²⁾				
Polietileno transparente	21.9	13.1	33.2	21.3
Polietileno con pintura blanca	21.4	12.7	31.6	20.9
Temperatura sustrato (°C) ⁽²⁾				
Polietileno transparente	24.5	20.6	28.0	24.1
Polietileno con pintura blanca	24.8	20.2	30.2	24.4

(1) Promedio de dos mediciones registradas cada 10 minutos,

(2) Valor medido sin repeticiones

Registros del 24 de julio al 8 de agosto de 2002

4.2.3.1 Sobrevivencia

Se encontraron diferencias notables en la sobrevivencia debidas primero a la longitud de las estacas y segundo a los bloques formados por dos condiciones de luz. La forma de aplicación de la hormona y la interacción entre estas dos variables no tuvo un efecto marcado sobre la sobrevivencia. La prueba de contrastes ortogonales confirma las diferencias en la sobrevivencia entre las dos condiciones de luz, con resultados semejantes dentro de una misma condición de luz (Anexo 8 1, Cuadro 8.4).

A mayor longitud, mayor sobrevivencia. La sobrevivencia de las estacas expuestas a mayor luminosidad fue siempre superior, igual que en cacao (Odegbaro y Adepipe, 1986). Las

regresiones lineales estimadas para cada condición de luz, establecen una sobrevivencia de 77% y 55.7% en estacas de 30 cm de longitud bajo plástico transparente y plástico con pintura blanca, respectivamente. (Figura 15).

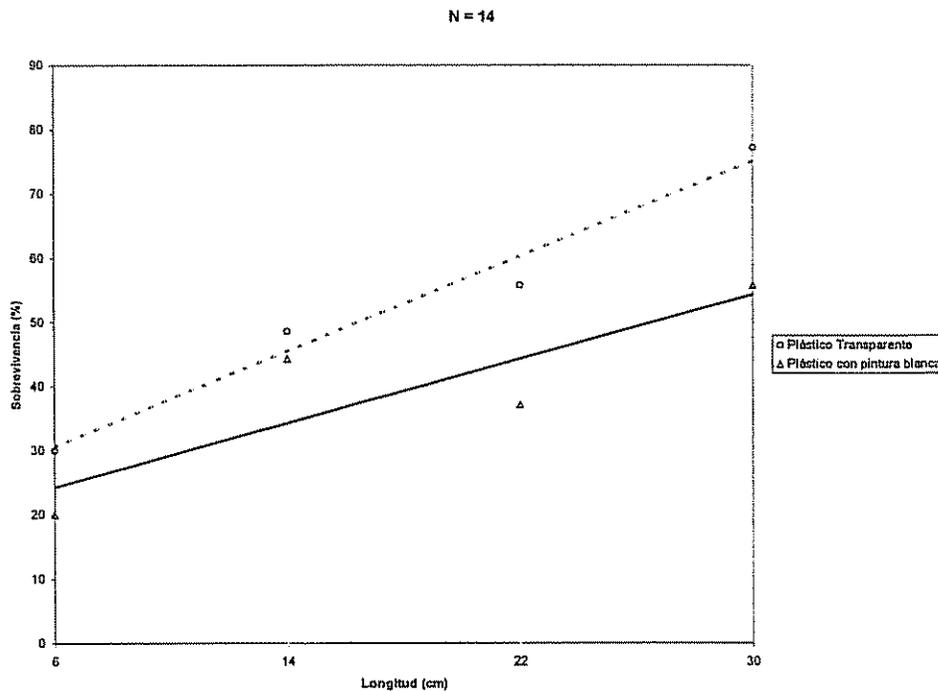


Figura 15. Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz dentro de propagadores de sub-irrigación: Sobrevivencia de estacas de burío (*H. appendiculatus*), en función de la longitud de la estaca. Turrialba, CATIE, 2002.

La poca irradiación y la utilización de estacas con una longitud constante de 6 cm, fueron las causas para obtener tan bajos porcentajes de sobrevivencia en los ensayos anteriores. La sobrevivencia mejoró notablemente con los tratamientos diseñados en este experimento.

4.2.3.2 Enraizamiento

La forma de aplicación de la hormona mostró diferencias significativas en el porcentaje de enraizamiento ($p = 0.0502$). Se encontraron diferencias debidas a la radiación solar, pero los contrastes ortogonales muestran que fueron debidas a resultados muy diferentes en los dos propagadores (bloques) con plástico transparente. En pilón (*Hyeronima alchornoides*), el enraizamiento mejoró con un aumento en la radiación (Núñez, 1997).

Los mejores resultados de enraizamiento se obtuvieron aplicando el AIB al 0.3% en metanol puro con un porcentaje de enraizamiento de 33% un mes después de la siembra (Figura 16). No se encontró interacción entre la longitud de la estaca y la forma de aplicación de la hormona. La longitud no fue importante para el enraizamiento de las estacas de burío (Cuadro 22), a diferencia de lo encontrado en estacas de *T. scleroxylon* donde los mejores resultados se obtuvieron con estacas más largas (Leakey y Coutts, 1989). Dos repeticiones fueron insuficientes para obtener diferencias claras en las diferencias encontradas bajo condiciones de luz.

Cuadro 22. Efecto de la longitud de la estaca y exposición a luz sobre el enraizamiento de estacas de burío (*H. appendiculatus*) de diferentes longitudes, sin diferencias estadísticas entre ellos. Vivero forestal CATIE, 2002.

Longitud (cm)	Plástico transparente	Plástico con pintura blanca
6	16%	11%
14	19%	15%
22	19%	13%
30	18%	11%

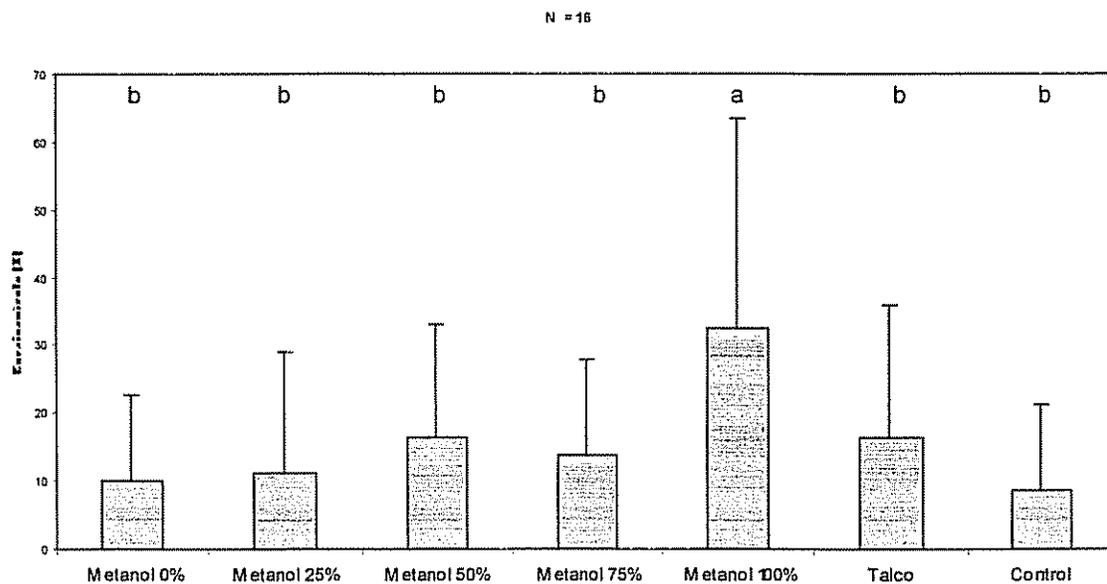


Figura 16. Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz: % de enraizamiento de estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.) obtenidas en propagadores de sub-irrigación. CATIE, 2002. Barras con la misma letra no difieren significativamente.

4.2.3.3 Número promedio de raíces por estaca enraizada

El coeficiente de variación de la variable transformada fue de 157.3%, el más alto de todas las variables de respuesta (Anexo 8.1, Cuadro 8.3). Las diferencias en el número de raíces fueron debidas a la forma de aplicación del AIB. No existe interacción entre la longitud de la estaca y la forma de aplicación de AIB. Se encontraron diferencias debidas a la radiación solar, pero los contrastes ortogonales muestran que fueron debidas a resultados diferentes en los dos propagadores (bloques) con plástico transparente.

El número de raíces más alto se obtuvo aplicando el AIB en alcohol puro, obteniéndose 8.5 raíces/ estaca enraizada, sin diferencias con el tratamiento de AIB en alcohol diluido al 50% (5.2 raíces/ estaca enraizada) (Figura 16).

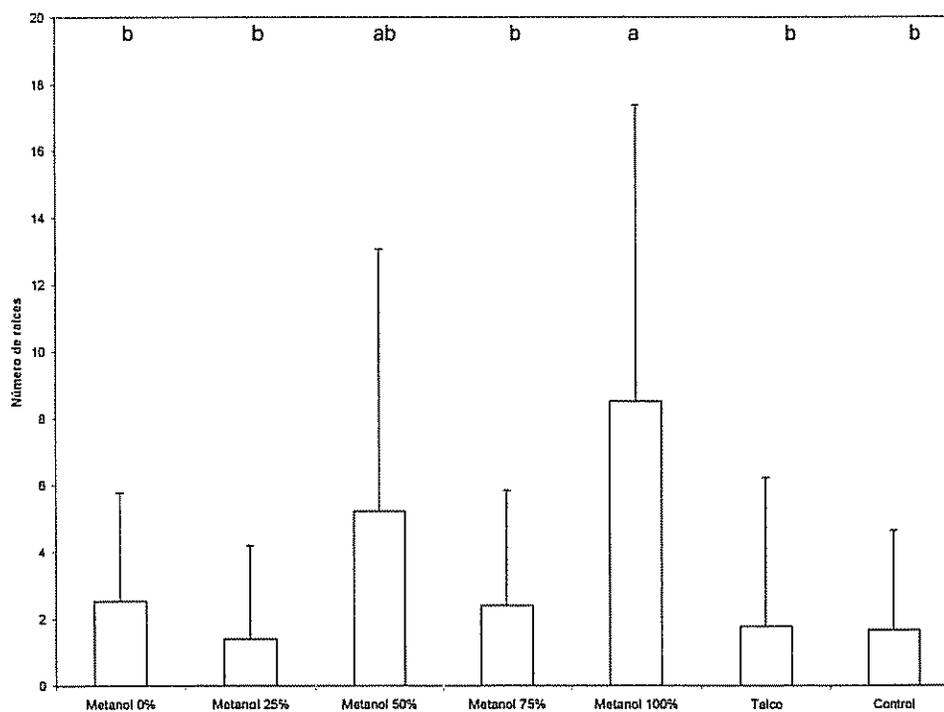


Figura 17. Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación de la hormona y exposición a luz: Número de raíces de las estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.) obtenidas en los propagadores de sub-irrigación. Turrialba, CATIE, 2002. Barras con la misma letra no difieren significativamente.

4.2.3.4 Selección del mejor tratamiento

Los resultados obtenidos no pueden extrapolarse a individuos de diferente edad y en otras condiciones diferentes a los árboles donantes para este experimento. Por tratarse de un estudio exploratorio, los ensayos se hicieron mezclando las estacas de diferentes individuos provenientes de la regeneración natural, aunque se conoce que aun entre los clones existen muchas diferencias en la respuesta al enraizamiento (*Albizia guachapele*: Mesén, 2001; *Cordia alliodora*: Mesén, 1993 y Mesén *et al*, 1997 a y b).

En un ensayo pequeño, anterior a éste, Castro (sin publicar) no encontró diferencias en el enraizamiento de estacas apicales y subapicales. Sin embargo, en este trabajo, con el uso de la estaca apical, se presentó pudrición en el meristemo de algunos tratamientos. Por lo que se recomienda trabajar con la estaca sub-apical en los siguientes ensayos (Mesén, 1998).

Los mejores resultados de enraizamiento y sobrevivencia se obtuvieron con la mayor exposición solar, utilizando una doble capa de sarán a 2 m de altura y polietileno transparente en la parte superior de los propagadores.

La aplicación de 0.3% de AIB disuelto en metanol puro, obtuvo el porcentaje de enraizamiento más alto (33%) y la mayor cantidad de raíces. Aunque la sobrevivencia aumentó a medida que aumentaba la longitud de la estaca, los enraizamientos fueron iguales en todas las longitudes, un mes después del ensayo y se prefiere la longitud de 14 cm para ensayos futuros, por obtenerse un mejor promedio aritmético del enraizamiento.

4.2.4 Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.)

Empleando los mejores resultados del experimento anterior, se diseñó un experimento utilizando estacas sub-apicales de 14 cm, AIB disuelto en alcohol puro y una irradiación obtenida con una doble capa de sarán a 2 m de altura y el propagador de sub-irrigación forrado en polietileno transparente, como condiciones iniciales del ensayo.

Las condiciones de los propagadores se presentan en el Cuadro 23. En promedio, la irradiación dentro de los propagadores aumentó un 60% ($126 \mu \text{ moles m}^{-2} \text{ seg}^{-1}$) con respecto al ensayo anterior; la temperatura promedio, mínima, máxima y mediana dentro del propagador subió 7° C aproximadamente, con respecto al ensayo anterior. La temperatura de todos los sustratos es muy semejante y solo aumentaron 1 ó 2° C, con respecto al ensayo anterior. La temperatura de las hojas en los sustratos de arena, aserrín y arena + aserrín es similar, pero en el sustrato de grava la temperatura se eleva 2° C

Cuadro 23. Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío: condiciones promedias de los propagadores de sub-irrigación los días 5 al 12 del ensayo de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Vivero forestal CATIE, 2002.

Variable Registrada	N	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana
Humedad Relativa (%)	2	89.3	76.7	96.8	88.9
Temperatura ambiental (° C)	2	33.3	22.8	43.1	33.4
Radiación solar	6	125.9	0.3	453.7	90.7
Temperatura foliar (° C)					
Arena	1	26.4	16.6	35.6	25.4
Aserrín	1	26.3	17.5	35.2	26.6
Arena + Aserrín	2	26.0	18.7	33.3	25.4
Grava	1	28.5	19.7	35.8	28.1
Temperatura sustrato (° C)					
Arena	2	27.3	22.8	31.8	27.9
Aserrín	2	26.4	23.1	29.5	26.8
Arena + Aserrín	2	26.7	23.4	29.4	27.2
Grava	2	27.7	24.0	31.7	27.2

Registros del 16 al 23 de septiembre de 2002

4.2.4.1 Sobrevivencia

El coeficiente de variación de la sobrevivencia transformada, fue de 24%, relativamente bajo comparándolo con el ensayo anterior (Anexo 8.2, Cuadro 8.7). La variable sustrato fue significativa para la sobrevivencia ($p < 0.05$). El sustrato de arena + aserrín fue el de mayor porcentaje de sobrevivencia, con un 47.2%, sin diferencias con la arena (36.1%) (Figura 18).

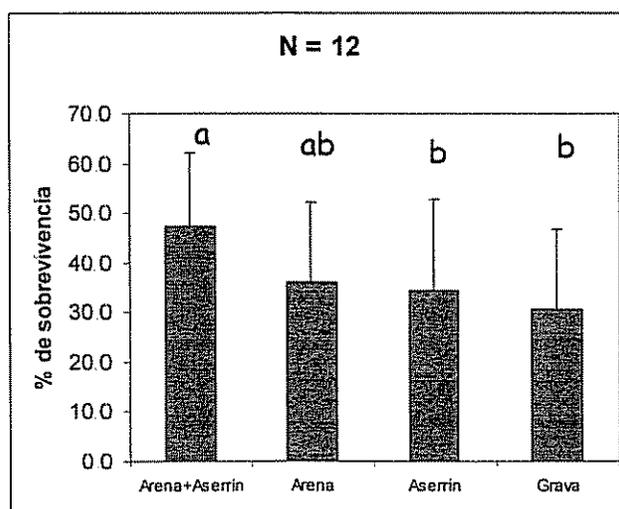


Figura 18. Sobrevivencia de estacas de burío en cuatro sustratos. Turrialba, CATIE, 2002. Barras con igual letra no difieren significativamente.

4.2.4.2 Enraizamiento

El enraizamiento en este experimento no presentó diferencias por el tipo de sustrato utilizado o el área foliar ni sus interacciones. Aplicando la transformación $\arcsen\sqrt{(x/100)}$, se obtuvo un valor de 28.5% en el coeficiente de variación. El promedio general fue de 30.8%, que continúa siendo bajo. Aunque estadísticamente no se encontraron diferencias, el mejor porcentaje de enraizamiento (46.6%) se obtuvo con un área foliar de 25 cm² y en el sustrato arena + aserrín (Cuadro 24).

Aunque el área foliar se reporta como importante para el enraizamiento de estacas (*T. scleroxylon*, Leakey, 1985; *Hyeronima alchornooides*, Núñez, 1997), en este caso no fue importante. En *Cordia alliodora*, que no pertenece al orden de las malvales, el área foliar tampoco influyó sobre el enraizamiento, pero la interacción entre el área foliar y el grado de iluminación fue significativo (Mesén, 1997 b), por lo que se presume que la irradiación no fue limitante para el enraizamiento.

Cuadro 24. Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos en el enraizamiento de estacas de burío (*H. appendiculatus*). CATIE, Turrialba, 2002.

Sustrato	área foliar				Promedio/ sustrato
	25 cm ²	50 cm ²	75 cm ²	100 cm ²	
Arena +Aserrín	46.6	33.3	28.9	31.1	35.0
Arena	35.6	33.3	31.1	35.6	33.9
Aserrín	42.2	22.2	22.2	28.9	28.9
Grava	26.7	35.6	17.8	22.2	25.6
Promedio/ área foliar	37.8	31.1	25.0	29.4	30.8

En otro estudio del mismo autor *Cordia alliodora* obtuvo buenos enraizamientos en grava y arena (Mesén, 1997 a). En el presente caso, sin embargo, el burío no tuvo preferencia por un medio en particular. En cacao se ha tenido éxito con sustratos orgánicos, pero para facilitar las labores de manejo, los medios inertes, como la arena o la grava son más recomendables (Erickson, 1957).

4.2.4.3 Número de raíces

El sustrato resultó una variable importante para explicar el número de raíces en las estacas de burío (Figura 19). La grava y la arena obtuvieron el mayor número de raíces por estaca enraizada, como ha ocurrido con *C. alliodora* (Mesén, 1997 a). Sin embargo, todos los valores obtenidos pueden considerarse elevados, considerando que tres raíces bien distribuidas por estaca son suficientes para alcanzar un buen desarrollo de las estacas (Leakey, 1985).

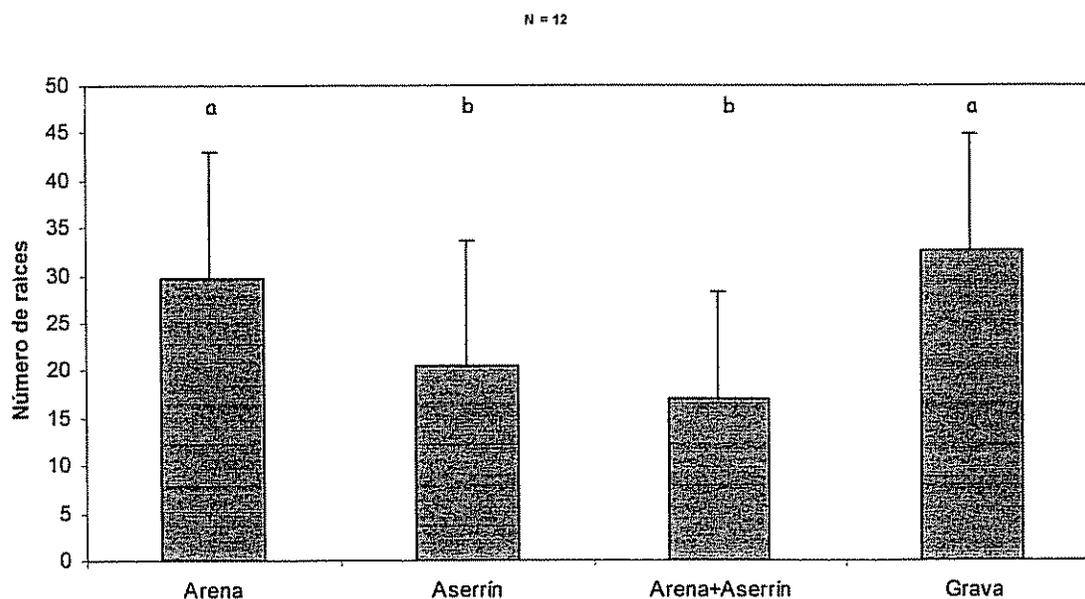


Figura 19. Número de raíces en estacas de burío (*H. appendiculatus*) enraizadas en diferentes sustratos. Turrialba, CATIE, 2002. Barras con igual letra no difieren significativamente.

4.2.4.4 Selección del mejor tratamiento

El área foliar, el sustrato o la interacción de ambas variables no fue importante para explicar el enraizamiento de estacas de burío, pero es preferible utilizar la arena como sustrato, ya que el número de raíces en este medio es el mejor y no presentó diferencias en la sobrevivencia con el sustrato arena+aserrín. Además se facilita la labor de limpieza en el vivero. Aunque el área foliar no fue importante para explicar ninguna de las variables de respuesta, 25 cm² es un área adecuada para la propagación de estacas del burío, de 14 cm de longitud y utilizando una doble capa de sarán a dos metros sobre el nivel del suelo para proteger los propagadores de sub-irrigación.

4.3 Propagación por acodos: Efecto de tres sustratos en la emisión de raíces adventicias en acodos aéreos.

Las características de los árboles utilizados se presentan en el (Anexo 9). Los diámetros de los árboles estuvieron entre 5.8 y 55.5 cm. Los análisis se hicieron con los resultados, dos meses después de hacer el acodo. Aunque los resultados no muestran diferencias estadísticas entre los sustratos de musgo y aserrín, es preferible el uso del musgo. En cacao se recomienda este sustrato porque conserva mejor la humedad (Guerra, 1951). A pesar de los resultados

obtenidos, la propagación por acodos del burío no es aconsejable, pues ningún acodo sobrevivió al ser transplantado en bolsa.

4.3.1 Sobrevivencia

No hubo diferencias significativas de los acodos de burío en todos los sustratos ($p>0.05$), obteniéndose un promedio de 80% de sobrevivencia para los sustratos de aserrín y estopa y 60% para el musgo.

4.3.2 Enraizamiento

Entre los árboles (bloques) no hubo diferencias en este porcentaje, a pesar de la gran variedad de tamaños de los árboles que se utilizaron. Entre los sustratos utilizados el musgo y aserrín obtuvieron 53.3% de enraizamiento, muy superior al obtenido con la estopa (13.3%). Ver Figura 20.

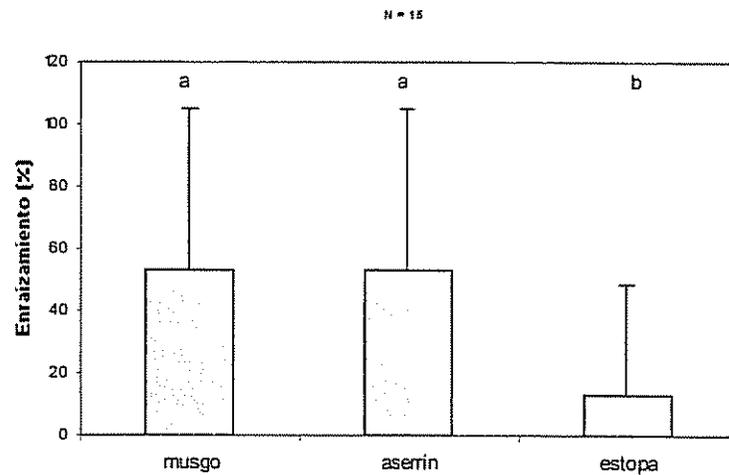


Figura 20. Porcentaje de enraizamiento de acodos de burío (*H. appendiculatus*) en tres sustratos. CATIE, Turrialba, 2002. Barras con la misma letra no difieren significativamente.

4.3.3 Número de raíces

No hubo diferencias en el número de raíces producidas por el tipo de sustrato, siendo ligeramente superior en aserrín, seguido por musgo y estopa con 4.3, 2.9 y 1 raíces por acodo, respectivamente.

4.4 Selección del mejor sistema de propagación

El siguiente paso para determinar el mejor sistema de propagación es hacer un estudio comparativo del comportamiento de las plantas de burío propagadas por semillas, estacas y acodos. Aunque la información obtenida en este estudio, es posible extraer información importante.

Por el uso reconocido y su importancia para la obtención de un producto no maderable del bosque (PNMB) que ha sido utilizado tradicionalmente en la producción de dulce y actualmente para la producción del azúcar y el dulce orgánicos, para prevenir su escasez y conservar esta especie nativa, que cumple funciones importantes en claros del bosque y bosques secundarios, como aporte de nutrientes (Williams-Linera, 1983), fuente de néctar para abejas o refugio de aves como pudo observarse durante la recolección de semillas para este trabajo.

Para solucionar la necesidad de una fuente constante de corteza es conveniente, a corto plazo, proponer su domesticación en los sitios cercanos al procesamiento de la caña de azúcar en los alrededores de Turrialba, Costa Rica. A mediano y largo plazo es importante conservar esta especie en áreas de conservación, como en las riberas de los ríos en la cuenca del río Reventazón, pues serviría para conectar paisajes desde 0 hasta 1700 msnm y que rápidamente puede recuperar suelos descubiertos o deteriorados.

La propagación del burío con el lote de semillas provenientes de Santiago de Paraíso obtuvo los mejores resultados (62% de germinación), frente a la propagación por estacas y acodos con 47% y 53% respectivamente. Sin embargo la selección del mejor sistema de propagación depende de consideraciones económicas principalmente. Se reitera la necesidad de evaluar los costos, riesgos y pérdidas de cosechar los frutos directamente de los árboles en pie o en el momento de talarlos. Si las diferencias en la calidad del mucílago son debidas a causas genéticas, la propagación vegetativa sería la mejor alternativa y en este caso conviene investigar más en estos métodos de propagación.

5. Conclusiones

5.1 Propagación por semilla

- La germinación de las semillas de *H. appendiculatus* aumenta notablemente utilizando el tratamiento pregerminativo de extracción de la semilla en húmedo usando licuadora, con una germinación de 54.5%, el doble que con el tratamiento de frutos escarificados y casi cinco veces la germinación obtenida por los frutos sin ningún tratamiento. A diferencia de lo encontrado por Vazquez-Yanes (1976), ninguna semilla de los tratamientos de inmersión en agua caliente germinó.
- En el vivero, se comprobaron diferencias en la germinación de semillas de *H. appendiculatus* de las cuatro fuentes identificadas entre el tratamiento pregerminativo de extracción de semillas y el control (frutos sin ningún tratamiento). Los porcentajes de germinación de semillas extraídas y control fueron respectivamente: Santiago de Paraíso (62.3% y 50.3%), Platanillo (50% y 43.3%), CATIE (50% y 26.4%) y Veintiocho Millas (23.9% y 10.75%). Sin embargo, estos resultados pueden estar indicando simplemente que las semillas de Santiago de Paraíso fueron cosechadas más maduras. Entre los tres sustratos ensayados no se encontraron diferencias en el porcentaje de germinación.
- Un árbol en Veintiocho Millas con diámetros entre 23 y 37 cm y alturas entre 8 y 12.5 m, en las condiciones ambientales prevalecientes durante la formación de los frutos cosechados, produce en promedio medio millón de frutos por cosecha, de los cuales 55,000 frutos (10.75%) podrían germinar. Por lo tanto la regeneración natural de la especie podría ser una alternativa más económica que la producción de plantas en el vivero.
- Cuarenta y tres de los 288 tratamientos, con porcentajes de germinación mayores o iguales a 64.7% no difirieron estadísticamente; más de la mitad de ellos corresponden a la fuente identificada de Santiago de Paraíso, lo que corrobora los resultados obtenidos en el ensayo de germinación en el vivero. Las semillas de todas las fuentes germinaron a 15° C, un grado más bajo que el límite de temperatura mínima para germinar encontrada por Vazquez-Yanes (1976), aunque las semillas de Santiago de Paraíso (1450 msnm) es la única que logra entre los mejores porcentajes de germinación, lo cual puede tener relación con las temperaturas que se registran en su lugar de origen (1450 msnm). En conclusión, las temperaturas óptimas para las fuentes que resultaron superiores fueron con temperaturas alternas de 30 y 15° C y 0 horas de luz. La arena es el sustrato de germinación más adecuado, por la facilidad para esterilizarlo.

- Las semillas de burío con contenidos de humedad entre 12.8% y 4.4% no presentaron diferencias en los porcentajes de germinación (39%), antes del almacenamiento. Por los bajos porcentajes de germinación obtenidos con el lote de frutos del CATIE a tres contenidos de humedad, no es conveniente su almacenamiento. A pesar de esto, los frutos con un contenido de humedad de 9%, a los seis meses en la cámara de 15°C y 45% de humedad relativa resultaron ser la mejor combinación de factores para su almacenamiento e incrementaron la germinación inicial del lote en 9%. Las semillas pueden catalogarse como ortodoxas.

5.2 Propagación por estacas y acodos

- En el mejor de los casos, la propagación por medio de estacas foliadas obtuvo un porcentaje de enraizamiento de 47%.
- En los dos primeros ensayos donde se pretendía evaluar el efecto de cuatro sustratos y cuatro concentraciones de AIB sobre el enraizamiento de estacas de 6 cm de longitud. La baja irradiación y el excesivo tiempo de inmersión de las estacas en las diferentes concentraciones de hormonas fueron los factores que determinaron una mortalidad cercana al 100% en los tres primeros días después de la siembra.
- En otro ensayo en que se evaluaron dos sustratos y cuatro formas de aplicación del AIB, la sobrevivencia y el porcentaje de enraizamiento de las estacas dieron mejores resultados (33% y 13%, respectivamente). Por cada estaca viva en arena hubo dos estacas vivas en grava.
- Controlando la irradiación, el tamaño de las estacas y la solución de metanol se obtuvo que la sobrevivencia de las estacas estuvo determinada por la cantidad de irradiación y la longitud de la estaca. El enraizamiento de las estacas estuvo determinado por la irradiación y la forma de aplicación del AIB. Se obtuvo un porcentaje de enraizamiento máximo de 33% aplicando una concentración de 0.3% de AIB disuelto en metanol puro.
- En un último experimento con estacas foliadas de 14 cm de longitud, aplicando 0.3% de AIB disuelto en metanol puro, en los propagadores de sub-irrigación se probaron cuatro sustratos y cuatro áreas foliares y se obtuvo un enraizamiento máximo de 47% en el sustrato arena:aserrín (1:1) con 25 cm² de área foliar, el mismo sustrato donde se encontró la mejor sobrevivencia.
- Los mejores sustratos para el enraizamiento de los acodos fueron el musgo y aserrín (53.3%), pero es preferible el musgo, pues conserva mejor la humedad. Aunque el porcentaje de enraizamiento de acodos fue superior al porcentaje de enraizamiento de estacas, debe investigar más la propagación por este método, pues ningún acodo sobrevivió al trasplante en bolsa.

6. Recomendaciones

6.1 Consideraciones con el burío

- Aunque la germinación de la semilla del *H. appendiculatus* se mejora notablemente extrayendo la semilla de las cápsulas, los resultados de germinación no son aceptables para almacenar los frutos. Sin embargo, el almacenamiento de frutos puede ser una alternativa a corto plazo, donde la especie comienza a ser escasa, para lo cual se requiere trabajar más con los frutos desecados a 9 y 4% de contenido de humedad durante un periodo de tiempo más prolongado y comprobar si la semilla requiere un periodo de post-maduración.
- Es necesario estimar los costos y los riesgos de cosechar las semillas directamente de los árboles en pie vs. la facilitación de la regeneración natural. Esto es debido a dificultades tales como la facilidad de desprendimiento de las cápsulas que son dispersadas por el viento y por la baja densidad de su madera que podría ocasionar roturas del árbol al escalarlos.
- Una limpieza práctica de la semilla consiste en colocar las semillas extraídas con la licuadora ya secas en la parte más externa de una corriente de aire generada con ventilador, para que se desprendan los restos de las cápsulas.
- Debería hacerse un estudio demográfico de la especie en bosques secundarios, para determinar la estructura de la población que permita un aprovechamiento sostenible de la corteza y raíces de los árboles producidos por regeneración natural, para su utilización en la clarificación de los jugos de caña.
- En futuros ensayos es importante determinar si existen diferentes poblaciones del *H. appendiculatus*, o si las diferencias encontradas fueron debidas únicamente a la madurez de las semillas de los lotes utilizados.
- Se recomienda diferenciar calidades del mucílago, según el conocimiento de los decachazadores en los trapiches, para establecer si las diferencias en el color del mucílago son debidas a factores genéticos, ambientales o fisiológicos. La propagación vegetativa sería una opción, si es que las calidades del mucílago están definidas genéticamente.
- Es conveniente hacer un estudio histológico para observar el proceso de diferenciación de las células y las causas que impiden un mejor enraizamiento.
- Para ensayos futuros con estacas sería conveniente utilizar siempre las estacas subapicales, determinar la concentración de AIB más adecuada, recolectar el material en días nublados, seleccionar los individuos con características más homogéneas. No es conveniente sumergir las ramas en agua durante la preparación de las estacas, para evitar

la hidratación de los mucilagos, porque pueden convertirse en una barrera física para la entrada del AIB.

- Es importante realizar un estudio comparativo en el vivero del crecimiento inicial de propágulos obtenidos por semillas, estacas y acodos, en lo posible por más de seis meses.

6.2 Consideraciones metodológicas

- La determinación de la germinación de semillas de burío en el laboratorio como despliegue de los cotiledones, de acuerdo con las normas del IPGRI, produce resultados que no se comportan normalmente, por lo que se recomienda utilizar la definición de la germinación de la ISTA, como salida de la radícula, pues el estrés producido por las condiciones ambientales o por el tipo de sustrato utilizado no permite la salida de los cotiledones.
- No hace falta calcular índices de vigor para el burío, por ser una especie que germina muy rápido.
- Para futuros ensayos de germinación en el laboratorio, donde se controlan temperaturas y periodos de luz, debería incluirse una variable más a lo sumo, pues es difícil interpretar los resultados, cuando las interacciones entre las variables son estadísticamente significativas.
- Por el funcionamiento de las cámaras de germinación tipo GRAM del BSF en los ensayos de germinación del burío, las altas temperaturas deben estar ligadas a los periodos de luz, para evitar el problema de hacer los cambios manualmente.

Bibliografía

- Ackerly, DD; Bazzaz, FA. 1995. Seedling crow orientation and interception of diffuse radiation in tropical forest gaps. *Ecology* 76(4):1134-1146.
- Ackerly, DD. 1996. Canopy structure and dynamics: integration of growth processes in Tropical pioneer trees. *In*: SS Mulkey, Chazdon RL, Smith, A. Tropical Forest Plant Ecophysiology. NY, Chapman & Hall. P.619-658.
- Andersen, 1986. Environmental influences on adventitious rooting in cuttings of non-woody species. *In*: Jackson, MB. New root formation in plants and cuttings. Dordrecht, Martinus Nijhoff. P. 223-253.
- Bazzaz, FA. 1991. Regeneration of tropical forest: Physiological responses of pioneer and secondary species. *In*: Gómez-Pompa, A.; Whitmore, TC; Hadley, M. Rain forest regeneration and management. París, UNESCO. Vol. 6 p. 91-118. (Man and the Biosphere Series).
- Blazich, FA. 1988. Chemicals and Formulations used to promote Adventitious rooting. *In*: Davis, T; Haissig, BE; Sankhla, N (eds). Adventitious root formation in cuttings. Portland, Oregon P. 132-149. (Advances in Plant Science Series)
- Brennan, EB; Mudge, KW. 1998. Vegetative propagation of *Inga feuillei* from shoot cuttings and air layering. *New Forest*. no. 15:37-51.
- CATIE, 2002. (en línea). Base de datos meteorológicos 1958-2001. CR. Consultado el 18 de marzo de 2002. Disponible en <http://www.catie.ac.cr/meteorología>.
- CATIE; CYTED; OPS/OMS; OEA. 1994. Domesticación de plantas medicinales en Centroamérica: actas de la reunión técnica. Turrialba, CR, CATIE. p 50-66. (Serie Técnica. Informe Técnico 245).
- Cerdas Saborío, M. 1977. Finca Experimental La Lola: sistema de propagación del cacao. *In*: Ministerio de Agricultura y Ganadería - Centro Agrícola Regional del Atlántico. Seminario sobre el cultivo del cacao. Limón CR, 9-12 de septiembre de 1977.
- Chaparro Montaña, LR. 1989. Viabilidad y evaluación de clarificantes químicos tipo polímero en la elaboración de panela. Tesis, Ingeniería. Química. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 113 p.
- CIMPA (Centro de Investigación en Caña Panelera, CO). 1992 Manual de elaboración de caña panelera y otros derivados de la caña de azúcar. Barbosa, CO. 187 p.
- Croat, TB. 1978. Flora of Barro Colorado. Standford, University Press. P. 576.
- Cuervo Andrade, JL. 1991. Prendimiento de estacas de seis especies arbóreas de uso múltiple bajo la influencia lunar. Tesis, Agronomía. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 93 p.
- Czabator, FJ. 1962. Germination value: an Index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*. Vol. 8: 386-396.
- Diavanshir, K; Pourbeik, H. 1976. Germination Value: a new formula. *Silvae Genetica* vol. 25:79-83.
- Díaz González, J; Ríos Trigoso, J. 1993. Identificación de la regeneración natural de árboles tropicales por la morfología de sus estadios iniciales. *In*: Revista Forestal del Perú. 20(1):35-61.
- Díaz, ERA; Salazar, R; Mesén, F. 1991a. Enraizamiento de estacas juveniles de *Gmelina arborea* Linn. *Silvoenergía* No. 49. 4 p.
- Díaz, ERA; Salazar, R; Mesén, F. 1991b. Enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. *Silvoenergía* No. 51. 4 p.
- Epstein, E; Chen, KH; Cohen, JD. 1989. Identification of indole-3-butiric acid as an endogenous constituent of maize Kernek and leaves. *Plant Growth Regulation*. 8:215-223.
- Erickson, AL. 1957. Propagación por estaca. *En*: León, J. Manual del curso de cacao (Edición provisional). Turrialba, CR, IICA. P 65-90.
- FAO. 1995. Non-wood forest products for rural income and sustainable forestry. Rome, IT. (Serie Non-wood forest products No. 7).
- FAO, 2000. Estadísticas de consumo de alimentos. (en línea). Roma, IT. FAO. Consultado 13 set. 2001. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/agriculture/foodsupply/database>.
- Fetcher, N; Oberbauer, SF; Rojas, G; Strain, BJ. 1987. Efectos del régimen de luz sobre la fotosíntesis y el crecimiento en plántulas de árboles de un bosque lluvioso tropical de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 35 (Supl. 1):97-110.
- Figueroa, JA; Vasquez-Yanes, C. 2002. Efecto de la calidad de la luz sobre la germinación de semillas en el árbol pionero tropical *Heliocarpus appendiculatus* (Tiliaceae). *Revista de Biología Tropical*. 50(1):31-36.

- Fournier O, LA. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles Turrialba 24(4):422-423
- Fournier, O. 1978. El tamaño de muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de características fenológicas de los árboles tropicales. *Cespedesia* 7(25-26):13-20.
- Frankie, GW; Baker, HG; Opler, PA. 1974. Comparative phenological studies of trees in the tropical wet and dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 62:881-919.
- FUNDECOR (Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central, CR) 2001. Árboles del trópico húmedo (en línea). Sarapiquí, CR. Consultado 25 oct. 2001. Disponible en: http://www.fundecor.or.cr/ES/bd_maderas/busqueda-T.phtml
- Gouvea, L. 1983. A germinação das sementes. Washington, US. OEA – Programa Regional de Desenvolvimento Científico y Tecnológico. P. 39-44. (Serie de Biología. Monografía No. 41).
- Grange, RI; Loach, K. 1983. Environmental factors affecting water loss from leafy cuttings in different propagation systems. *Journal of Horticultural Science*. 58(1):1-7
- Groot, SPC; Karssen, CM. 1987. Gibberellins (GA) regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: a study with gibberellin-deficient mutants. *Planta* 17(4):525-531.
- Guerra, O. 1951. Ensayo de acodos sobre ramas de *Theobroma cacao* L. tratadas con hormonas. Thesis de Especialista en Cacao. Turrialba, CR, IICA. 46 P.
- Haissig, BE. 1986. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. In: Jackson, MB. New root formation in cuttings. Dodrech. NE. Martinus Nijhoff, p. 141-189.
- Hackett, WP. 1988. Donor plant maturation and adventitious root formation. In: Davis, TD; Haissig, BE; Sankhala, N. (eds.) Adventitious root formation in cuttings. Vol. 2. Portland, Oregon. Dioscorides Press. p. 11-28.
- Harrington, JF. 1972. Problems of seed storage. In: Heydecker, W (ed). Seed ecology. Proceedings of the 19 Easter School in Agricultural Science. University of Nottingham. London, UK, Butterworths. P. 251-264.
- Hartman, HT; Kester, DE. 1972. Propagación de plantas: principios y prácticas. Cuba, Instituto Cubano del Libro. 693 p.
- Hernández Gil, R. 1989. Tamaño de la semilla y efecto de la temperatura en la germinación de *Heliocarpus popayanensis* H.B.K. *Revista Forestal Venezolana* 23(33):21-42.
- Hoitink, HAJ; Stone, AG; Han, DY. 1996. Suppression of plant disease by compost. In: 10 Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 3 Congreso Nacional de Fitopatología, 2 Congreso Nacional de Suelos. ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva?. Fitopatología (San José, CR, 8-12 de julio de 1996). V. 2. P. 47-52.
- Holdridge, LR; Poveda, LJ; Jiménez, Q. 1997. Árboles de Costa Rica: palmas y otras monocotiledóneas y árboles con hojas compuestas o lobuladas. 2 ed. San José, CR, Centro Científico Tropical. v. 1, p. 482.
- Ireta Ojeda, A. 1975. Estudios sobre la propagación del litchi (*Litchi chinensis* Sonn) por el método de acodo aéreo en el valle de Culiacán. *Agricultura Técnica en México*. 3(11):418-423
- IPGRI/DFSC. 1996. Screening Protocol. In: The project on handling and storage of recalcitrant and intermediate Tropical Forest Tree Seeds. Newsletter – Julio 1996. No. 1. P. 5-29.
- ISTA (International Seed Testing Association, CH). 1996. International Rules for seed testing. *Seed Science & Technology*. 24 (Suppl.). 89 p.
- Jarvis, BC. 1986. Endogenous control of adventitious rooting in non-wood cuttings. In: Jackson, MB. New root formation in plants and cuttings. Direct NE. Martinus Nijhoff Publishers. P. 191-221.
- Karssen, CMR; Kepczynski, J; Groot, SPC. 1989. Key role for endogenous gibberellins in the control of seed germination. *Annals of Botany*. 63(1):71-80.
- Kemp, RH. 1979. La obtención de semilla para las investigaciones de especies y procedencias. In Burley, J; Wod, P.J. Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos. Trad. JM. Benson. Oxford, UK, Commonwealth Forestry Institute (Tropical Forestry Paper No. 10 y 10 A)
- Kramer, PJ; Kozlowski, TT. 1979. Physiology of woody plants. Orlando, US, Academic Press. 811 p.
- Küppers, M; Timm, H; Orth, F; Stegemann, J; Stöber, R; Schneider, H; Paliwal, K; Karunaichamy, KSTK; Ortiz, R. 1996. Effects of light environment and successional status on lightfleck use by understory trees of temperate and tropical forest. *Tree Physiology* no. 16:69-80.
- La Rotta García, H. 1988. Extracción y conservación del polímero del balsa. Tesis Ing. Quím. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 104 p.
- Labarte F, H; Reiche C, C. 1989. Consumo de leña y otros combustibles en trapiches de San Ramón, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. p. 19. (Serie Técnica. Informe Técnico 153).

- Lay, KK. 1949. A revision of the genus *Heliocarpus* L. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 36(4):507-541.
- Leakey, RRB; Chapman, VR; Longman, KA. 1982. Physiological studies for tropical tree improvement and conservation factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Forest Ecology Management* no. 4:53-66.
- Leakey, RRB. 1983. Stockplant factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., an indigenous hardwood. *Journal of Horticultural Science*. No. 58:277-290.
- Leakey, RRB y Mohammed, RS. 1985. The effects of stem length on root initiation in sequential single-node cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Journal of Horticultural Science* 60(3):431-437.
- Leakey, RRB. 1985. The capacity for vegetative propagation in trees. In: Canell, MGR; Jackson, JE (eds.). *Trees as crop plants*. Midlothian, UK, Institute of Terrestrial Ecology. P 110-133.
- Leakey, RRB. 1987. Clonal Forestry in the Tropic: a review of developments, strategies and opportunities. *Commonwealth Forestry Review* 66(1):61-75.
- Leakey, RRB; Coutts, MP. 1989. The dynamics of rooting in *Triplochiton scleroxylon* cuttings: their relation to leaf area, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. *Tree Physiology*. No. 5:135-146.
- Leakey, RRB; Mesén, JF; Tchoundjeu, Z; Longman, KA; Dick, J McP, Newton, A; Matin, A; Grace, J; Munro, RC; Muthoka, PN. 1990. Low technology techniques for vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* 69(3):247-257.
- Little, RJ; Jones, CE. 1980. *A Dictionary of Botany*. N.Y., Van Nostrand Reinhold. 400 p.
- Loach, K. 1977. Leaf Water Potential and the Rooting of Cuttings under Mist and Polythene. *Physiology Plantarum* no. 40:191-197.
- Longman, KA. 1993. Enraizamiento de estacas de árboles tropicales. In: *Árboles tropicales: Manuales de propagación y plantación*. Vol. 1. London, UK. Commonwealth Science Council. (Technical Paper 298). 137 p.
- Maas, PJM; Westra, LYTh. 1998. Neotropical plant families: a concise guide to families of vascular plants in the Neotropics. 2 ed. Koenigstein, DE, Koeltz Scientific Books, 290 p.
- MacDonald, B. 1986. *Practical woody plant propagation for nursery growers*. Portland, Oregon, US. Timber Press. v. 1, 669 p.
- Mayer, AM; Poljakoff-Mayber, A. 1975. The germination of seeds. 2 ed. Oxford, UK. Pergamon. P. 21-75. (International Series of Monographs: pure and applied Biology. Vol. 5).
- McDonald, SS; Williamson, GB; Wiemann, MC. 1995. Wood specific gravity and anatomy in *Heliocarpus appendiculatus* (Tiliaceae). *American Journal of Botany*. 82(7):855-861.
- Mesén, 1988. Propagación vegetativa de *Araucaria hunsteinii* Sch. mediante enraizamiento de estacas. Tesis Ing. Agronómica. Turrialba, Universidad de Costa Rica. 77p.
- Mesén, F. 1993. Vegetative propagation of Central American hardwoods. Ph.D. Thesis. Edinburgh, University of Edinburgh. 231 p.
- Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, CR, CATIE-Prosefor. 36 p. (Serie Técnica Manual Técnico No. 30)
- Mesén, F; Newton, AC; Leakey, RRB. 1997a. Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken: the effects of IBA concentration, propagation medium and cutting origin *Forest Ecology Management* no. 92:45-54.
- Mesén, F; Newton, AC; Leakey, RRB. 1997b. The effects of propagation environment and foliar area on the rooting physiology of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken cuttings. *Tree* no. 11:404-411.
- Mesén, F; Leakey, RRB; Newton, AC. 2001. The influence of stockplant environment on morphology, physiology and rooting of leafy stem cuttings of *Albizia guachapele*. *New Forest* no. 22:213-227.
- Mohd-Idris, Zainal-Abidin; Azmi-Bakar. 1984. Studies on cuttings in cocoa. *Planters (Malasya)*. Vol. 60:111-112.
- Naciones Unidas. 1992. Programa 21: Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro, 3 al 14 de junio de 1992. San José, CR. Consejo de la Tierra/Universidad Nacional de Costa Rica. (Serie: Documentos Cumbre de la Tierra)
- Núñez, Y. 1997. Propagación vegetativa del cristóbal (*Platymiscium pinnatum* Benth); pilón (*Hyeronima alchornoides* Allemo) y surá (*Terminalia oblonga* Ruiz & Pavón) mediante el enraizamiento de estacas juveniles. Tesis Mag. Sc., Turrialba, CR, CATIE, 150 p.
- Oberbauer, SF. 1990. Seed weight and rooting depth of seedling of Costa Rican wet forest trees. *Revista de Biología Tropical*. 38(2B):473-476.
- Odegbaro, OA; Adedipe, NO. 1986. Rooting classification and culture responses of some cacao hybrids. *Turrialba* 36(2):197-204.

- Ouédraoug, AS; Poulsen, K; Stubsgård, F. (eds). 1996. Intermediate/recalcitrant tropical forest tree seeds. In: IPGRI/DFSC Proceedings of a workshop on improved methods for handling and storage of intermediate/recalcitrant tropical forest seeds. 8-10 June 1995. Humlebaek, Denmark.
- Páez, CA; Vargas, E. 1975. Control biológico de *Mycena citricolor* con *Trichoderma sp*. Fitopatología (ALF) 10(2):63-69.
- Pérez, E. 1947. Plantas útiles de Colombia: ensayo de botánica colombiana aplicada. Bogotá, CO, Imprenta Nacional. P.362.
- Peters, CM. 1994. Sustainable harvest of non-timber plant resources in tropical moist forest: an ecological primer. Washington, US, WWF/The Nature Conservancy/World Resources Institute. 45 p.
- Planka, ER. 1970. On r and k-selection. American Journalist No. 104:592-597.
- Quesada, FJ; Jiménez, Q; Zamora, N; Aguilar, R; González, J. 1997. Árboles de la Península de Osa. Heredia, CR. Instituto Nacional de Biodiversidad. P. 329.
- Raintree, JB. 1996. Características socioeconómicas de los árboles y de las prácticas de plantación forestal. Roma, IT, FAO. 112 p. (Serie Desarrollo Forestal Comunitario, nota 9)
- Rehm, S; Espig, G. 1991. The cultivated plants of the Tropics and Subtropics: cultivation, economic value, utilization. (Trad. G. McNamara; C. Ernsting). Weikersheim, DE. P. 372-373.
- Salisbury, FB; Ross, CW. 1994. Fisiología Vegetal. Trad. Virgilio González V. México, Iberoamericana, p. 284, 514.
- Sandoval, G. 1998. Manejo de jugos, limpieza, clarificación, evaporación y concentración. In: Il encuentro internacional sobre la industria panelera. Puyo, EC, 22 al 25 de julio de 1998. Disponible en: http://www.ecuarural.gov.ec/ecuagro/paginas/tech_agroind/panela/tec_i_panela.html
- Simons, AJ. 1996. ICRAF's strategy for domestication of non-wood tree products. In Domestication and commercialization of non-timber forest products in agroforestry systems. Proceedings of an international conference, Nairobi, Kenya, 19-23 february 1996. (FAO Serie Non-wood forest products no. 9).
- Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. Annual Review Plant Molecular Biology. Vol. 46:289-315
- Schneider, EA; Kazakoff, CW; Wightman, F. 1985. Gas chromatography-mass spectrometry evidence for several endogenous evidence for several endogenous auxins in pea seedling organs. Planta 165:232-241.
- Steel, RGD; Torrie, JH. 1996. Bioestadística: principios y procedimientos. 2 ed. Trad. R Martínez. México, McGraw-Hill. 622 p.
- Taiz, L; Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. 2 ed. Sunderland, US, Sinauer. P. 483-516.
- Tovar, R. 1989. *Trichoderma sp* como biocontrol de hongos en café (*Coffea arabica*) afectados por el mal de viñas. In: ANACAFE (Guatemala). Memoria primer seminario talles sobre el mal de viñas del café. (Guatemala, abril de 1989). P. 32-35.
- Traw, MB; Ackerly, DD. 1995. Leaf position, light levels and nitrogen allocation in five species of rain forest pioneer trees. American journal of Botany. 82(9):1137-1143.
- Vargas, M; Quesada, P. 1996. Caracterización cualitativa y cuantitativa de algunos genotipos de mamón chino (*Nephelium lappaceum*) en la zona sur de Costa Rica. Boletín Técnico - Estación Experimental Fabio Baudrit M. 29(2):41-49.
- Vásquez, W; González, A. 1997. Manejo de semillas y tratamientos pregerminativos. Turrialba, CR. CATIE/Prosefor/ DFSC. Banco de Semillas Forestales. (Colección Materiales de Extensión no. 1).
- Vazquez-Yanes, 1976. Estudios sobre la Ecofisiología de la germinación en una zona cálido-húmeda de México. In: Gomez-Pompa, A; Del Amo Rodríguez, S; Vazquez-Yanes, C; Butanda Cervera, A. Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Mx, Continental.
- Vazquez-Yanes, C. 1980. Notas sobre la autoecología de los árboles pioneros de rápido crecimiento de la selva tropical lluviosa. Tropical Ecology 21(1):103-112
- Vazquez-Yanes, C. 1981. Germinación de dos especies de Tiliáceas arbóreas de la vegetación secundaria tropical: *Belotia campbellii* y *Heliocarpus donell-smithii*. Turrialba 31(1):81-83.
- Vazquez-Yanes, C; Orozco-Segovia, A. 1982. Seed germination of a tropical rain forest pioneer tree (*Heliocarpus donell-smithii*) in response to diurnal fluctuation of temperature. Physiology Plantarum. V. 56:295-298.
- Vazquez-Yanes, C; Orozco-Segovia, A. 1996. Physiological ecology of seed dormancy and longevity. In Mulkey, SS; Chazdon, RL; Smith, A. Tropical forest plant ecophysiology. New York, US, Chapman & Hall. p. 535-558.
- Veierskov, B. 1988. Relations between carbohydrates and adventitious root formation. In: Davis, TD; Haissig, BE; Sankhala, N. (eds). Vol 2. Portland, Oregon. Dioscorides Press. P. 70-78.

- Werner, P. 1985. La reconstitution de la forêt tropicale humide au Costa Rica: analyse de croissance et dynamique de la végétation. Tesis, Docteur es Sciences. Dorign, CH. Université de Lausanne: Institut de Botanique
- Willer, H; Yussefi, M. 2001. Organic Agriculture Worldwide 2001: Statistics and Future Prospects (en línea) DE. Consultado el 12 de enero de 2002. Disponible en http://www.soel.de/inhalte/publicationen/s_74_03.pdf
- Williams-Linera, G. 1983. Biomass and nutrient content in two successional stages of tropical wet forest in Uxpanapa, México. *Biotropica* 15(4):275-284.

Apéndices y Anexos

Anexo 1. Glosario de términos

Ácido indol-3-butírico (AIB): ácido cristalino parecido al ácido indolacético en actividad auxínica. Recientemente se ha encontrado evidencias de su presencia en hojas de maíz (Epstein *et al.*, 1989) y en algunas dicotiledóneas (Schneider *et al.*, 1985)

Acodo aéreo: sistema de multiplicación artificial de las plantas, que consiste en cubrir con un sustrato una de sus ramas, sin separarla del tronco y dejando que sobresalga el extremo superior, con el objetivo de que, arraigando, pueda cortarse en la base de la unión y constituir un individuo independiente

Acropéta: en dirección de la base de la planta al ápice

Actividad oxidasa: Actividad química en la que se obtiene la ganancia de oxígeno. En las plantas, la formación de peróxido de oxígeno (agua oxigenada) durante la fotosíntesis es peligroso para su sobrevivencia

Auxinas: cualquiera de las hormonas o sustancias que actúan sobre las células vegetales determinando su alargamiento.

Azúcar orgánico: edulcorante cultivado y manejado por los métodos permitidos por la agricultura orgánica y procesados con los métodos e insumos aprobados por los sistemas de certificación existentes

Basípeta: en dirección del ápice a la base de la planta

BSF: Banco de Semillas Forestales del CATIE

Cachaza: residuos del jugo de caña de azúcar, que se extraen durante la evaporación por separación y aglutinación

Caducifolios: Deciduos

Cáliz valvado: cada una de las divisiones de la cápsula del burio.

Clarificación: Proceso de limpieza en los jugos de caña sometidos a evaporación, donde un agente floculador es agregado a una dispersión de sólidos en suspensión, coloides, compuestos colorantes o precursores de color para retirar estas partículas antes de iniciar la concentración de los azúcares.

Clon: conjunto de individuos procedente de otro, originario, por alguno de los procedimientos de multiplicación asexual sin reducción de cromosomas.

Comportamiento plagiotrópico: comportamiento de las ramas de las plantas, que por la acción de la gravedad se colocan en posición oblicua o transversal a este estímulo

Compuestos pécticos: compuestos con propiedades gelatinizantes, que en forma de pectosas son muy abundantes en los frutos maduros.

Deciduos: Caducifolios

Descachace: acción de retirar impurezas de los jugos de caña

Dulce: panela, rapadura, chancaca, gur, non centrifugal sugar cane

Especie ginomonóica: plantas que tiene flores hermafroditas y flores femeninas.

Estaca apical: estaca localizada en el ápice y a continuación del ápice, sin interrupción.

Estaca subapical: estaca obtenida retirando el ápice de una rama

Estaminodios (en flores pistiladas): se aplica a los estambres que, habiendo perdido su función, permanecen completamente estériles al final de su desarrollo.

Estipe del gineceo: O estípite. Sustentáculo más o menos largo que sostiene el conjunto de órganos femeninos de la flor, los carpelos.

Etiolación: respuesta de una planta sometida a estrés lumínico, alargando su tallo para tener acceso a la luz.

Fenología: estudio de los fenómenos biológicos acomodados a cierto ritmo periódico como la brotación, la florescencia, la formación de frutos.

Fitocromo: pigmento semejante a la clorofila, pero con una estructura lineal y sin el átomo de magnesio, que existe en las plantas en dos formas intercambiables: una que absorbe luz roja y otra que absorbe luz roja lejana.

Floema: Tejido vascular que transporta los productos de la fotosíntesis desde las hojas maduras hasta las áreas de crecimiento y almacenamiento, incluyendo las raíces.

Floema inmaduro o secundario: conjunto de haces conductores formados por los tubos cribosos y el parénquima.

Flores actinomorfas: flores que tienen por lo menos dos planos de simetría.

Flores hermafroditas: flores que poseen órganos masculinos y femeninos. Son las más frecuentes en las angiospermas.

Fotoperiodo: duración del tiempo diario en que los organismos están expuestos a la acción de la luz.

Frutos indehiscentes: que no se abren.

Germinación: proceso en las semillas que se dirige al desarrollo de un embrión en una planta.

Heliófita efímera: O pionera. Gremio ecológico de las plantas presente en las primeras etapas de la sucesión de un bosque que requieren de grandes perturbaciones para permitir la entrada de la luz para su germinación y establecimiento a cambio de un desarrollo acelerado y una corta vida.

Hemicelulosas: un constituyente de las membranas celulares y que forman muchas de las pelusas que recubren algunos órganos vegetales.

Hormona vegetal: es un compuesto orgánico que se sintetiza en alguna parte de una planta de una planta y que se transloca a otra parte, en donde concentraciones muy bajas causan una respuesta fisiológica.

Imbibición de las semillas: primer paso en el proceso de germinación, donde el agua penetra las membranas de las moléculas vegetales y los geles se hinchan, provocando el debilitamiento de la testa. Puede ocurrir tanto en semillas vivas como muertas.

ISTA: International Seed Testing Association.

Lenticelas: cualquier protuberancia de la peridermis visible a simple vista, que reemplaza a los estomas de la desaparecida epidermis y que la planta utiliza para el intercambio de gases.

Mecate: cualquier cuerda fibrosa.

Meristemo apical: todo tejido cuyas células crecen y se multiplican.

Mucílago: Carbohidratos poliméricos. Su cadena principal son azúcares (manosa, galactosa) unida con otras moléculas de azúcar (ácido galacturónico, ácido glucurónico). Químicamente cercanos a las hemicelulosas (xylanos) y pectinas (cadena principal del ácido galacturónico). Son parte de todas las paredes celulares.

Ontogénético: perteneciente o relativo a la ontogenia.

Ontogenia: estudia el desarrollo del ser, vegetal o animal, a partir de un óvulo y hasta su formación definitiva.

Ovario súpero: ovario libre, unido al tálamo sólo por su base.

Parénquima: tejido fundamental, por ser el que predomina en la mayoría de los órganos vegetales, con un protoplasma muy cerca de la pared y en el centro una o varias vacuolas

Pectosas: sustancias que en forma de combinación cálcica insoluble se encuentra principalmente en la membrana celular; sirve como elemento incrustante y regula por sus grupos hidrófilos el contenido acuoso del organismo vegetal. Su composición química es la de un ácido poligalacturónico metilado parcialmente y va acompañada de pentosanas y hexosanas, tal vez unidas químicamente

Pétalos valvados: pétalos dispuestos de forma que sólo se tocan por el borde

Pubescencia: tendencia a cubrirse de vello

Punto de compensación lumínica: en la economía vegetal de los hidratos de carbono, es el estado de equilibrio entre la cantidad de los mismos producidos en 24 horas y la utilizada por la respiración en 24 horas

Raíces adventicias: (del latín *adventitius*, accidental, inesperado) raíces que se desarrollan a partir de un tejido adulto, no de un tejido embrional o meristemático

Semillas intermedias: nuevo término propuesto por el IPGRI para las semillas que no se ajustan a la definición de semilla ortodoxa ni recalcitrante

Semillas ortodoxas: semillas que pueden ser desecada y pueden ser almacenadas a bajas temperaturas

Semillas recalcitrantes: semillas de viabilidad muy corta, que no soportan la desecación y que no resisten bajas temperaturas

Tratamiento pregerminativo: cualquier tratamiento aplicado a las semillas, con el fin de mejorar la germinación

Viabilidad de la semilla: capacidad que tienen las semillas para conservar su habilidad para germinar por largos periodos de tiempo.

Vigor de la semilla: energía germinativa

Xilema: tejido vascular de las plantas que transporta agua y minerales desde el sistema radicular a las partes aéreas de las plantas

Siglas utilizadas en los Anexos

C.V.: Coeficiente de variación

DMS: Diferencia mínima significativa

D.E. Desviación estándar

Diámetro cc: diámetro medido a 1.3 m, a menos que se especifique.

Espesor de corteza: promedio de cuatro medidas perpendiculares tomadas en dirección N, S, E, W.

Fte: Fuente

Hdad: Contenido de humedad de los frutos

Mat: Material (Semilla extraída, control)

Máx VGD: Máxima velocidad de germinación diaria

Per: Periodo de almacenamiento de los frutos

Rep: Repetición

Tem: Temperatura

VG Czabator: Valor germinativo de Czabator (1962)

VG Diavanshir: Valor germinativo de Diavanshir & Pourbeik (1976)

Anexo 2. Diseño del Propagador de sub-irrigación mejorado por el Instituto de Ecología Terrestre (ITE), Escocia.

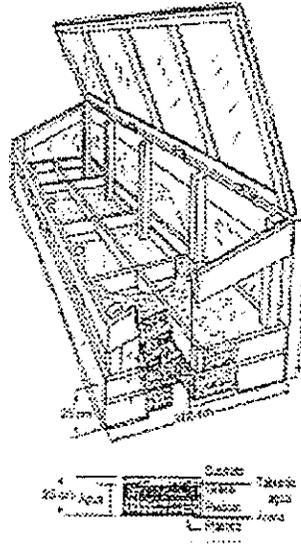


Figura 2.1. Esquema de un propagador de sub-irrigación. (Fuente: Letray *et al.*, 1990 citado por Mesén, 1998)

Anexo 3. Efecto de 10 tratamientos pregerminativos aplicados a frutos sobre el porcentaje de germinación del burío (*Heliocarpus appendiculatus*).

Cuadro 3.1 Tratamientos pregerminativos. Nivel de significancia del diseño irrestricto al azar con dos repeticiones y dos muestras: prueba de hipótesis usando caja(trat) como término del error.

Fuentes de Variación	Variables de respuesta				
	Germinación	Velocidad de germinación	VG Czabator(1)	VG Diavanshir(1)	Coefficiente de velocidad
Tratamiento	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Caja (trat)	0.6556	0.6556	0.6198	0.5382	0.2548

(1) Valores Germinativos. Datos con la transformación $\sqrt{(x + 0.5)}$

Cuadro 3.2 Ajuste de las variables de respuesta al modelo.

	Variables de respuesta				
	Germinación	Velocidad de germinación	VG Czabator(1)	VG Diavanshir(1)	Coefficiente de velocidad
R ²	0.968283	0.968283	0.980689	0.976210	0.993383
Coefficiente de variación	25.71545	25.71545	22.24467	20.66835	11.58827

(1) Valores Germinativos. Datos con la transformación $\sqrt{(x + 0.5)}$

Cuadro 3.3 Comparación de promedios de germinación de los tratamientos pregerminativos utilizando contrastes ortogonales

Contraste	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F
control vs resto	1	78.400000	4.53	0.0459
Frutos escarificados con lija vs Sllas extraídas, agua T° ambiente: 1, 12 y 24h, agua caliente: 10, 20 y 30 seg, frutos escarificados en húmedo	1	552.781250	31.95	<.0001
Sllas extraídas vs control, agua T° ambiente: 1, 12 y 24h, agua caliente: 10, 20 y 30 seg	1	7211.790179	4116.87	<.0001
Frutos escarificados en húmedo vs agua T° ambiente: 1, 12 y 24h, agua caliente: 10, 20 y 30 seg	1	111.720238	6.46	0.0194
agua caliente vs agua T° ambiente	1	1650.041667	95.38	<.0001
Agua caliente 10 seg vs caliente 20,30	1	0.000000	0.00	1.0000
Agua caliente 20 seg vs caliente 30seg	1	0.000000	0.00	1.0000
Agua T° amb 1 hr vs 12 y 24 hrs	1	204.166667	11.80	0.0026
Agua T° amb 12 hrs vs 24 hrs	1	18.000000	1.04	0.3199

Anexo 4 Ensayo de germinación de semillas extraídas de *H. appendiculatus* y un control: ensayos de vivero y laboratorio

Anexo 4.1 Fuentes semilleras identificadas

Provincia: Cartago
 Cantón: Cartago
 Distrito: Santiago de Paraiso.
 Lugar: Carretera de Turrialba a San José x Q. La Puente.
 Altitud: 1450 msnm.

Propietario: María Luisa Arrieta
 Teléfonos: 551 29 96
 Arrendatario: José Luis Guillén Coto
 Teléfonos: 531 26 93
 Usos del suelo: Siembra de papa y Chile dulce, Terreno preparado para la siembra de caña de azúcar

Arbol No.	eje	Diámetro cc (cm)	espesor de corteza (cm)	altura total(m)	Observaciones
1	1	42.5	0.70	13.3	
2	1	52.5	1.62	20.6	
3	1	30	1.05	11.1	
4	1	41.1	1.14	14.3	
7					árbol enraizado debajo del puente
8	1	38.5	1.33	12.4	

Provincia: Cartago
 Cantón: Turrialba
 Distrito: Tayutic (Platanillo)
 Lugar: San Martín
 Altitud: 1100 msnm

Propietario: Pedro Solís
 Teléfonos: 556 43 11
 Encargado de finca: Sra. Fresi Hidalgo
 Teléfonos: 531 26 93
 Usos del suelo: Bosque secundario

No.	Eje	Diámetro cc (cm)	Espesor de Corteza (cm)	altura total(m)	Observaciones
1	1	36.5	2.57	23.0	
2	1	21.9	2.06	16.0	
3	1	21.2	1.40	17.7	
	2	16.6	1.24		
5	1	25	1.65	21.5	
6	1	22.3	1.46	22.3	
	2	16.9	1.56	17.4	
7	1	23.9	1.27	8.0	
8	1	19.2	1.11	21.6	
	2	17.6	1.14	20.8	
10	1	24.9	1.65	14.0	
11	1	28.8	1.75		Talado, después de la recolección

Provincia: Cartago
 Cantón: Turrialba
 Distrito:
 Lugar: CATIE
 Altitud: 600 msnm

Usos del suelo: bosque ripario, café orgánico
 Vegetación circundante: Ceibas (*Bombacopsis* sp), guarumos (*Cecropia* spp), espaveles (*Anacardium excelsum*), lagartillo, guaniquil colorado, quisarrá, ojoche, musáceas, *Ficus* spp, *Terminalia amazonia*, *Cupania* sp, fosforillo, poró (*Erythrina poeppigiana*).

No.	Eje	Diámetro cc (cm)	Espesor de corteza (cm)	Altura (m)
1	1	53.4	2.05	31.5
2	1	47.3	1.75	26.9
3	1	56.1	1.83	48.7
4	1	37.8	1.98	20.0
	2	31.5	1.98	15.2
5	1	52.3	1.75	32.4
6	1	43.5	1.98	28.6
7	1	38.3	1.73	20.5
8	1	48.5	1.45	26.6
9	1	32	1.48	24.2
	2	31	1.55	16.8
10	1	36.2	1.85	22.0
	2	37.4	1.43	20.9

Provincia: Limón
 Cantón: Matina
 Distrito: Veintiocho Millas
 Lugar: Vía a La Lola, entre la carretera y la quebrada Salsipuedes
 Altitud: 40 msnm

Propietario: Ligia Steward
 Teléfonos:
 Usos del suelo: Bosque ripario, cultivo de cacao abandonado
 Vegetación circundante: guavas (*Inga* spp), laureles (*Cordia alliodora*), guarumos (*Cecropia* spp), poró (*Erythrina poeppigiana*), guácimo colorado (*Luehea* spp), chilamate

No.	Eje	Diámetro Cc (cm)	Espesor de corteza (cm)	altura total(m)	Observaciones
11	1	50.8	1.33	6.7	
12	1	54.6	2.16	7.5	
13	1	39.9	1.21	6.7	

Provincia: Limón
 Cantón: Matina
 Distrito: Veintiocho Millas
 Lugar: Vía del Limón a Siquirres, 1.5 km después de la entrada a La Lola
 Altitud: 40 msnm

Propietario: Juana García
 Teléfonos: 387 92 47
 Usos del suelo: plátano y yuca
 Vegetación circundante: guacimillo (*Guazuma* sp), guácimo colorado (*Luehea* sp), guarumos (*Cecropia* spp), laurel (*Cordia alliodora*), guavas (*Inga* spp), castaño (*Artocarpus* sp), quisarrá (laurácea), cocos

No.	Eje	Diámetro Cc (cm)	Espesor de corteza (cm)	Altura total(m)	Observaciones
15	1	36.9		12.5	
16	1	23.1	0.86	8.0	
17	1	25.8		8.9	
	2	23.5		8.9	
18	1	27.3		7.1	
20	1	22.4	0.64	6.3	

Anexo 4.2 Lotes de semillas utilizados en los ensayos de germinación

Variables	Santiago de Paraíso	Platanillo	Veintiocho Millas	CATIE
# frutos puros/kg	122,579		294,204	296,648
Contenido de Humedad	49.20%		46.2%	30.40%
% de pureza			99.1 %	97.9 %
Peso 1000 frutos puros \pm D.E.	8.158 \pm 0.946		3.399 \pm 0.078	3.371 \pm 0.146
Coefficiente de Variación	11.6%		2.3	3.9
Peso 1000 frutos + impurezas			3.43	3.443
# frutos puros/kg con impurezas			291,545	290,444

D.E. Desviación Estándar

Pruebas de Rutina	Fuente Identificada			
	Santiago de Paraíso	Platanillo	Veintiocho Millas	CATIE
Contenido de Humedad	13.60%	11.80%	12.60%	12.80%
Peso 1000 frutos puros \pm D.E.	4.583 \pm 0.137	3.645 \pm 0.120	3.214 \pm 0.096	3.378 \pm 0.135
% de pureza	91.2	92.5	95.8	97.1
Peso 1000 frutos + impurezas	5.025	3.941	3.355	3.479
# frutos puros/kg	218,198	274,348	311,139	296,033
# frutos puros /kg con impurezas	199,005	253,743	298,063	287,439
% de Germinación de frutos en el vivero	50 33%	44 33%	10 75%	26 42%
# frutos viables/ kg	100,159	112,484	32,041	75,941
# árboles cosechados	6	9	8	10
Peso del lote de frutos almacenado	264 g	243 g	768 g	400 g

D.E. Desviación estándar
Frutos empacados y almacenados en la cámara de 15°C y 45% de humedad relativa.

Cuadro 4.8. Pruebas de rutina del ISTA: Peso de mil semillas \pm D.E. y número de semillas por kg después del tratamiento pregerminativo de escarificación en húmedo y 36 horas de secado

Pruebas de rutina	Fuente Identificada			
	Santiago de Paraiso	Platanillo	Veintiocho Millas	CATIE
Marzo 12 de 2002				
Peso de 1000 semillas	1.339 \pm 0.051	1 206 \pm 0.03	1.014 \pm 0.026	
C.V.	3.8%	2.5%	2.6%	
# semillas puras por kilo	746,826	829,187	986,193	
Mayo 14 de 2002				
Peso de 1000 semillas	1.438 \pm 0.044	1.17 \pm 0.024	1.021 \pm 0.025	1.239 \pm 0.035
Coefficiente de Variación	3.1%	2.0%	2.4%	2.8%
#semillas puras por kilo	695,410	854,701	979,432	807,103
% de Germinación de semillas en el vivero	62.25%	49.67%	23.92%	49.58%
# de semillas viables por kilo	432,892	424,530	234,280	400,161

D.E. Desviación estándar. C.V. Coeficiente de variación.

Anexo 4.3 Ensayo de germinación en el vivero de semillas de burío y un control, provenientes de cuatro fuentes identificadas

Cuadro 4.9 Ensayo de germinación en el vivero. Nivel de significancia del diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas.

Fuente de variación	Variables de respuesta				
	Germinación	Máx VGD (1)	VG Czabator	VG Diavanshir	Coefficiente de Velocidad
Bloque	0.3028	0.1162	0.2051	0.2226	0.5527
Sustrato	0.7273	0.1648	0.4982	0.5526	0.0001
Bloque(sustrato) Error B	0.8012	0.3904	0.5300	0.7049	0.2125
Fuente	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Material	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Fuente*material	0.0003	0.0005	<.0001	<.0001	0.3767
Sustrato*fuelle	0.3417	0.1852	0.0632	0.1998	0.8296
Sustrato*material	0.2006	0.4423	0.2701	0.2948	0.2645
Sustrato*fuelle*material	0.3642	0.2640	0.0574	0.0692	0.1690

(1) Máxima velocidad de germinación diaria

Cuadro 4.10. Ajuste de las variables de respuesta al modelo

	Variables de respuesta				
	Germinación	Máx VGD	VG Czabator	VG Diavanshir	Coefficiente de Velocidad
R ²	0.901536	0.929324	0.907501	0.900332	0.913925
Coefficiente de variación	17.04507	20.70828	32.77560	31.96674	11.24833

Anexo 4.4 Ensayo de germinación en el laboratorio de semillas de burío y un control, provenientes de cuatro fuentes identificadas

Cuadro 4.11 – Análisis de varianza de un diseño en bloques completos al azar. Variable de respuesta: porcentaje de germinación definida como la emisión de la radícula (ISTA, 1996). ($R^2 = 0.810887$, Coeficiente de Variación = 10.99731)

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Probabilidad > F
Modelo	289	297661.9491	1029.9721	8.52	<.0001
Error	574	69420.0463	120.9408		
Total	863	367081.9954			

Variables sin transformar.

Cuadro 4.12 - Partición de la suma de cuadrados del Modelo

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor de F	Probabilidad > F
Rep	2	996.64352	8.24	0.0003
Luz	2	8120.03241	67.14	<.0001
Tem	2	13747.56019	113.67	<.0001
Fte	3	5475.37500	45.27	<.0001
Mat	1	86760.37500	717.38	<.0001
Sust	3	2555.01698	21.13	<.0001
Luz*Tem	4	5425.48380	44.86	<.0001
Luz*Fte	6	765.01389	6.33	<.0001
Luz*Mat	2	281.76389	2.33	0.0982
Luz*Sust	6	1275.98920	10.55	<.0001
Tem*Fte	6	1754.54167	14.51	<.0001
Tem*Mat	2	1847.26389	15.27	<.0001
Tem*Sust	6	1162.96142	9.62	<.0001
Fte*Mat	3	1828.90586	15.12	<.0001
Fte*Sust	9	602.60957	4.98	<.0001
Mat*Sust	3	334.64660	2.77	0.0411
Luz*Tem*Fte	12	696.71528	5.76	<.0001
Luz*Tem*Mat	4	516.42361	4.27	0.0021
Luz*Tem*Sust	12	1223.57948	10.12	<.0001
Luz*Fte*Mat	6	316.31327	2.62	0.0165
Luz*Fte*Sust	18	152.55093	1.26	0.2074
Luz*Mat*Sust	6	700.12809	5.79	<.0001
Tem*Fte*Mat	6	593.10957	4.90	<.0001
Tem*Fte*Sust	18	100.68364	0.83	0.6621
Tem*Mat*Sust	6	731.96142	6.05	<.0001
Fte*Mat*Sust	9	137.46553	1.14	0.3344
Luz*Tem*Fte*Mat	12	549.37114	4.54	<.0001
Luz*Tem*Fte*Sust	36	205.02083	1.70	0.0078
Luz*Fte*Mat*Sust	18	200.20010	1.66	0.0431
Tem*Fte*Mat*Sust	18	106.49023	0.88	0.6029
Luz*Tem*Fte*Mat*Sust	48	187.69599	1.55	0.012

Cuadro 4.13 –Análisis de varianza de un diseño en bloques completos al azar. Variable de respuesta: porcentaje de germinación definida como la salida de los cotiledones (IPGRI, 1996). Transformación $\sqrt{(x+0.5)}$. ($R^2 = 0.85$, Coeficiente de variación = 25.15)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Probabilidad > F
Modelo	289	3415.908	11.82	11.43	<0.0001
Error	574	593.47	1.03		
Total	863	4009.375			

Cuadro 4.14 – Partición de la suma de cuadrados del Modelo

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Valor de F	Probab.< F
Rep	2	12.633635	12.22	<.0001
Luz	2	94.201382	91.11	<.0001
Tem	2	16.440032	15.90	<.0001
Fte	3	63.403181	61.32	<.0001
Mat	1	82.311058	79.61	<.0001
Sust	3	400.555263	387.42	<.0001
Luz*Tem	4	82.300729	79.60	<.0001
Luz*Fte	6	2.395712	2.32	0.0321
Luz*Mat	2	134.031804	129.64	<.0001
Luz*Sust	6	4.639351	4.49	0.0002
Tem*Fte	6	30.665315	29.66	<.0001
Tem*Mat	2	27.935257	27.02	<.0001
Tem*Sust	6	5.237613	5.07	<.0001
Fte*Mat	3	9.967601	9.64	<.0001
Fte*Sust	9	4.682045	4.53	<.0001
Mat*Sust	3	7.743013	7.49	<.0001
Luz*Tem*Fte	12	3.384975	3.27	0.0001
Luz*Tem*Mat	4	12.271639	11.87	<.0001
Luz*Tem*Sust	12	8.271353	8.00	<.0001
Luz*Fte*Mat	6	2.329816	2.25	0.0370
Luz*Fte*Sust	18	2.505331	2.42	0.0009
Luz*Mat*Sust	6	4.681984	4.53	0.0002
Tem*Fte*Mat	6	3.557785	3.44	0.0024
Tem*Fte*Sust	18	2.581224	2.50	0.0006
Tem*Mat*Sust	6	9.020901	8.72	<.0001
Fte*Mat*Sust	9	1.446814	1.40	0.1849
Luz*Tem*Fte*Mat	12	5.072356	4.91	<.0001
Luz*Tem*Fte*Sust	36	1.634768	1.58	0.0185
Luz*Fte*Mat*Sust	18	0.873628	0.84	0.6468
Tem*Fte*Mat*Sust	18	0.999062	0.97	0.4977
Luz*Tem*Fte*Mat*Sust	48	2.596317	2.51	<.0001

Nota: los datos sin transformar obtuvieron un $R^2 = 0.83$ y un Coeficiente de variación de 43.46.

Anexo 5. Efecto de la desecación y almacenamiento de frutos en la germinación de semillas de burío

Anexo 5.1 Germinación e índices de vigor de los lotes de semillas desecados, antes del almacenamiento.

Cuadro 5.1 Germinación e índices de vigor de frutos de burío desecados a tres contenidos de humedad. Nivel de significancia del diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones y dos muestras, utilizando el error experimental Caja(Hdad) como término del error

Fuente de variación	Germinación (%)	VGD (semillas/día)	VG Czabator	VG Diavanshir & Pourbeik	Coefficiente de velocidad
Humedad	0.1319	0.1319	0.0396	0.0478	0.0062
Caja (Humedad)	0.8031	0.8031	0.5962	0.6911	0.5281

VGD = Velocidad de Germinación Diaria

Cuadro 5.2 Ajuste de las variables de respuesta al modelo

	Variables de respuesta				
	Germinación	VGD	VG Czabator	VG Diavanshir	Coefficiente de Velocidad
R ²	0.390476	0.390476	0.744927	0.658412	0.924202
Coefficiente de variación	16.74865	16.74865	29.51671	31.43867	6.548065

VGD = Velocidad de Germinación Diaria

Anexo 5.2 Germinación e índices de vigor de los lotes de semillas desecados, después del almacenamiento en cuatro ambientes.

Cuadro 5.3. Ensayo de desecación y almacenamiento: Análisis de varianza para la germinación de semillas después del almacenamiento. Diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial

Fuente de variación	Germinación (%)	VGD (semillas/día)	VG Czabator (1)	VG Diavanshir & Pourbeik (1)	Coefficiente de velocidad
Bloque	0.5124	0.2916	0.2421	0.2453	0.8227
Tem	0.1973	0.1779	0.0098	0.0215	<.0001
Hdad	0.4989	0.2307	0.0608	0.2981	0.0149
Per	0.0469	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001
Tem*Hdad	0.2384	0.2510	0.1157	0.0798	0.1422
Tem*Per	0.0486	0.0716	0.0122	0.0207	0.0038
Hdad*Per	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Tem*Hdad*Per	0.0025	0.0064	0.0478	0.0349	0.1054

(1) Datos con la transformación $\sqrt{x + 0.5}$.

Cuadro 5.4 Ajuste de las variables de respuesta al modelo

	Variables de respuesta				
	Germinación	VGD	VG Czabator (1)	VG Diavanshir (1)	Coefficiente de Velocidad
R ²	0.589281	0.630253	0.736058	0.731339	0.903074
Coefficiente de variación	24.52936	26.25913	23.77127	23.61720	9.697885

(1) Datos con la transformación $\sqrt{x + 0.5}$.

Cuadro 6.1 Cosecha de frutos de *H. appendiculatus* por árbol en la fuente identificada de Veintiocho Millas Matina.

Árbol	Cosecha de ¼ de copa (g)			Total Cosechado (g)	Cosecha por árbol (g)		Frutos totales /árbol (g)
	Frutos Verdes	Frutos Maduros	Peciolos		Frutos Verdes	Frutos Maduros	
15	75	350	1250	1675	300	1400	6700
16	205	285	365	855	820	1140	3420
17	310	235	345	890	1240	940	3560

Cuadro 6.2. Resultados de las pruebas rutinarias del ISTA para la estimación de contenido de humedad, número de frutos verdes y maduros por kilo y por árbol de burío en Veintiocho Millas, Matina.

	N	Árbol								
		No. 15			No. 16			No. 17		
		F. V.	F. M.	Total	F. V.	F. M.	Total	F. V.	F. M.	Total
CH frutos recién cosechados	2	43.8	16.7		63.9	20.5		58.1	14.3	
Peso de mil frutos puros	8	5.183	3.301		6.794	3.151		5.369	2.78	
D.E.		0.218	0.219		0.115	0.118		0.18	0.059	
C.V.		4.2	3.9		3.3	3.8		3.35	2.12	
# frutos puros por kilo		192,938	302,939		147,189	317,360		186,254	359,712	
% de pureza	2	93.7	99.1		97.3	98		99.6	97.5	
Peso 1000 frutos puros + impurezas		5.531	3.331		6.983	3.215		5.391	2.851	
# frutos puros /kg con impurezas		180,799	300,210		143,205	311,042		185,494	350,754	
# frutos puros viables/kg ⁽¹⁾		20,741	32,566	53,307	15,823	34,116	49,939	20,022	38,669	58,691
# frutos/árbol		57,881	424,115	481,996	120,695	361,790	482,485	230,955	338,129	569,084
# frutos puros viables/árbol				51,815			51,867			61,177

N = número de muestras para la estimación, F V = Frutos verdes, F M = Frutos maduros, DE = Desviación Estándar, C V = Coeficiente de Variación (1) Estimado con un porcentaje de Germinación de frutos de 10.75% y un contenido de humedad de 12.6%

Anexo 7. Estacas: Experimentos Fallidos: Efecto de diferentes dosis de AIB y sustratos sobre el enraizamiento de estacas

Anexo 7.1. Fuentes de estacas de burío.

Cuadro 7.1 Medidas de árboles de burío recolectados a orillas del río Reventazón (CATIE, Turrialba) para el experimento de Evaluación del efecto de dosis de AIB y sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus*)

Árbol No.	Eje	Dap (cm)	Altura (m)	Observaciones
18	1	29	2	
20	1	2.8	3.5	
22	1	2.6	1.5	Rebrotes de árbol inclinado
	2	2.5	1	
	3	3.1	0.5	
	4	1.5	1	
32	1	7	2	
33	1	6.4	5.5	
34	1	5.5	4	
35	1	6.2	4	
36	1	6.4	5	
37	1	7.2	5	
38	1	10	8.5	
39	1	4	9	
40	1	8.1	7	
41	1	11.5	9	Árbol inclinado y bifurcado
42	1	8.5	9	
43	1	14.3	10	
44	1	13.9	12	
45	1	10.2	8	Ubicado en la vía al Limón, cerca al río Reventazón

Cuadro 7.2. Medidas de árboles de burío recolectados en la hacienda Atirro (Turrialba) para el experimento de Evaluación del efecto de dosis de AIB y sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío (*Heliocarpus appendiculatus*): repetición del ensayo anterior

No.	Eje	Diámetro (cm)	Altura total (m)
40	1	6	5
46	1	8,9	9
48	1	30	18
47	1	16,7	8
	2	12,5	8
49	1	35	12
	2	40	12
50	1	10,4	6
51	1	14,3	8
52	1	21	10
53	1	8,4	7
	2	9	7
	3	6,6	7
54	1	26,4	11
55			
56	1	11,9	8
57	1	23,2	12
58	1	18	9
59	1	8,5	5,5

Nota: de cada árbol se recolectaron de 50 a 55 estacas

Anexo 7.2 Evaluación del efecto de formas de aplicación de AIB en dos sustratos sobre el enraizamiento de estacas de burío.

Cuadro 7.3 Efecto de cuatro aplicaciones de AIB en dos sustratos, sobre la sobrevivencia de estacas de burío (*H. appendiculatus*). Nivel de significancia de un diseño completamente al azar en parcelas divididas

Fuente de variación	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)
Sustrato	0.186	0.7892
Rep(sustrato) Error B	0.0275	0.0029
AIB	0.3937	0.6337
Sustrato*AIB	0.6659	0.6409

Cuadro 7.4 Ajuste de las variables de respuesta al modelo

	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)
R ²	0.629593	0.660462
Coefficiente de variación	62.16866	101.1477

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$

Fuente de Variación	Grados de libertad	Chi-cuadrado	Pr > Chi-cuadrado
Sustrato	1	10.04	0.0015**
AIB	3	3.85	0.2779 ^{ns}

Anexo 8 Estacas de burío (*H. appendiculatus*). 1) efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación del AIB y la luz sobre el enraizamiento y 2) efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre el enraizamiento.

Anexo 8.1 Efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación del AIB y la luz sobre el enraizamiento de estacas

Cuadro 8.1 - Datos de los árboles donantes recolectados en la finca de Cabiria (CATIE) para el experimento de efecto del tamaño de la estaca, forma de aplicación del AIB y la luz sobre el enraizamiento de estacas de burío (*H. appendiculatus*)

No.	Eje	Diámetro (cm)	Altura total (m)	Estacas/ árbol
60	1	8.1	5.6	160
	2	8.3	5.6	
61	1	28.8	10.1	208
	2	19.6	9.6	
62	1	27.2	14.9	256
63	1	6.7	3.9	56
TOTAL				680

Nota: Se emplearon 640 de las 680 estacas preparadas para la aplicación del tratamiento.

Cuadro 8.2 Evaluación del efecto de siete formas de aplicación del AIB y cuatro longitudes sobre la sobrevivencia de estacas de burío. Nivel de significancia del diseño de bloques completos al azar.

Fuente de variación	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)	# de raíces
Bloque	0.0358	0.0156	0.0025
Long	<.0001	0.9528	0.7056
Sln	0.3513	0.0502	0.0017
long*sln	0.4344	0.7234	0.9519

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$

Nota: los bloques son formados por dos condiciones de luz

Cuadro 8.3 Ajuste de las variables de respuesta al modelo.

	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)	# de raíces
R ²	0.442103	0.322383	0.379055
Coefficiente de variación	51.50735	107.5223	157.2770

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$

Cuadro 8.4 Contrastes ortogonales para los bloques

Contraste	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)	# de raíces
Plástico transparente vs. Plástico blanco	0.0075	0.0756	0.1602
Transparente 1 vs. Transparente 2	0.8918	0.0191	0.0012
Blanco 1 vs. Blanco 2	0.2373	0.1566	0.1328

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$

Anexo 8.2 Efecto de cuatro áreas foliares y cuatro sustratos sobre la sobrevivencia, el enraizamiento y el número de raíces de estacas de burío.

Cuadro 8 5 Arboles utilizados para la evaluación del enraizamiento de las estacas de burío utilizando cuatro áreas foliares y cuatro sustratos

No.	Diámetro cc (cm)	Altura Total	Número de Estacas		
			11-Sep	12-Sep	13-Sep
78	16,2	8	56	54	40
79	6,6	3	12	8	8
80	10,8	4	16	16	16
81	8,7	4	12	16	12
82	8,8	5	24	24	24
	8,1	5			
83	8,9	5	36	32	32
	9,2	5			
84	11	7	28	28	36
85	35,1	9	80	80	80
	16	4			
Total de estacas			264	258	248

Cuadro 8 6 Efecto de cuatro sustratos y cuatro áreas foliares en la sobrevivencia de estacas de burío. Niveles de significancia del diseño completamente al azar.

Fuente de Variación	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)	# de raíces
bloque	0.0004	0.0009	0.0406
sust	0.0375	0.2494	0.0075
afoliar	0.1378	0.1913	0.3985
sust*afoliar	0.8855	0.7158	0.3666

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$

Cuadro 8.7 Ajuste de las variables de respuesta al modelo

	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)	# de raíces
R ²	0.573868	0.528098	0.537622
Coefficiente de variación	23.97055	28.49009	46.41983

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$

Anexo 9. Evaluación del efecto de tres sustratos en el enraizamiento de acodos del burío.

Cuadro 9.1 - Árboles utilizados para la evaluación del enraizamiento de acodos de burío utilizando tres sustratos

Árbol	Eje	Diámetro (cm)	Altura (m)	Observaciones
61	1	28.8	10.1	Vivero café
	2	19.6	9.6	
64	1	17.1	8	Carretera vivero café
65	1	16.1	7	Macadamia x rastrojo
66	1	5.8	3.9	Jardín botánico x quebrada
67	1	19.2	12.8	Ensayo caoba
68	1	10.2	6.5	Cacao x galería
		11	6.5	
69	1	31.8	10.8	
	2	55.5	24	Edificio. Andino
70	1	47.8	25.5	
71	1	36.9	20.8	Ed. Andino
72	1	6.1	5.1	Posgrado
73	1	13.2	8.1	Camino Antiguo 109
74	1	25.2	8.2	Camino Antiguo 109
75	1	26.9	10.6	Ganadería x chanchera
	2	40.6	5.8	
76	1	48.6	14	Cultivos
77	1	10.1	5.4	Colecciones de café

Cuadro 9.2 Efecto de tres sustratos sobre el enraizamiento de acodos de burío. Niveles de significancia de un diseño de bloques completos al azar

Fuente de variación	Sobrevivencia	Enraizamiento	# de raíces
bloque	0.2147	0.1313	0.8396
sust	0.3357	0.0214	0.3933

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$

Cuadro 9.3 Ajuste de las variables de respuesta al modelo

	Sobrevivencia (1)	Enraizamiento (1)	# de raíces
R ²	0.439394	0.530864	0.595202
Coefficiente de variación	57.23870	106.3462	130.1139

(1) Datos con la transformación $\text{arc sen } \sqrt{(x/100)}$