

Restauración de bosques tropicales

una guía práctica

Este libro está dedicado a la memoria de Surat Plukam. Gran artista e ilustrador, su obra, clara y simple, ha hecho que la restauración de bosques sea más accesible, tanto para niños como para adultos, desde las pequeñas poblaciones rurales hasta las autoridades del gobierno, a través del sudeste Asiático.

Esta publicación ha sido posible gracias a la financiación de la Darwin Initiative, con el apoyo del Programa de Ecología de Restauración de RBG Kew, Fundación John Ellerman, Man Group plc, y el Millennium Seed Bank Partnership de Kew.

Para propósitos bibliográficos, este libro debe ser citado como:

ELLIOTT, S. D., D. BLAKESLEY Y K. HARDWICK, 2013. Restauración de Bosques Tropicales: un manual práctico. Royal Botanic Gardens, Kew; 344 pp.

RESTAURACIÓN DE BOSQUES TROPICALES UN MANUAL PRÁCTICO

POR STEPHEN ELLIOTT,
DAVID BLAKESLEY Y KATE HARDWICK

ILUSTRACIONES DE SURAT PLUKAM Y DAMRONGCHAI SAENGKAM
TRADUCIDO POR CLAUDIA LÜTHI

TRADUCCIÓN CORREGIDA Y EDITADA POR MAITE CONDE-PRENDES

PATROCINADO POR LA DARWIN INITIATIVE
PUBLICADO POR ROYAL BOTANIC GARDENS, KEW

Kew Publishing
Royal Botanic Gardens, Kew

© El Consejo Directivo de Royal Botanic Gardens, Kew, 2013
Texto © derechos de autor los autores
Ilustraciones y fotografías © los artistas y fotógrafos

Los autores han afirmado sus derechos de ser identificados como los autores de este trabajo, de acuerdo con el Copyright, Designs and Patents Act 1988 (Ley de Derechos de Autor, Diseños y Patentes de 1988). Los autores han hecho todos los esfuerzos razonables para rastrear el copyright de los titulares de los derechos de autor, de todos los materiales citados en este libro y de cualquier imagen reproducida en este libro.

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito de los editores, a no ser en conformidad con las disposiciones de la Copyright Designs and Patents Act 1988.

Se ha tenido el máximo cuidado en mantener la exactitud de la información contenida en este trabajo. Sin embargo, ni los autores ni los editores, pueden hacerse responsables de cualquier consecuencia que surja del uso de la información aquí incluida. Las opiniones expresadas en este trabajo son de los autores individuales y no reflejan necesariamente las de los editores o del Consejo Directivo de Royal Botanic Gardens, Kew.

Primera edición en 2013 por
Royal Botanic Gardens, Kew,
Richmond, Surrey, TW9 3AB, UK
www.kew.org

Distribuido en nombre de Royal Botanic Gardens, Kew, en América del Norte por la University of Chicago Press, 1427 East 60th Street, Chicago, IL 60637, USA

ISBN 978-1-84246-484-7

Catalogación en Datos de Edición por la British Library
El registro de catálogo para este libro está disponible en la British Library

Editor de producción: Sharon Whitehead
Diseño de portada, composición y diseño de página: Margaret Newman
Edición, Diseño & Fotografía, Royal Botanic Gardens, Kew

Impreso y encuadernado en Italia por Printer Trento S.r.l.



Para más información o la compra de copias adicionales de este libro (en inglés, francés o español) y otros títulos de Kew, visite www.kewbooks.com o envíe un correo electrónico a a_publishing@kew.org

La misión de Kew es inspirar y proporcionar la conservación de plantas basada en la ciencia, mejorando la calidad de vida alrededor del mundo.

La mitad de los gastos administrativos de Kew son sufragados por el Gobierno, a través del Ministerio de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (Defra). Cualquier otra financiación necesaria para apoyar el trabajo vital de Kew, proviene de miembros, fundaciones, donantes o actividades comerciales, incluyendo la venta de libros.

CONTENIDO

Prólogo por HRH Prince of Wales	vii
Prefacio	viii
Reconocimientos	x
CAPÍTULO 1 – Deforestación tropical: una amenaza para la vida en la Tierra	1
Sección 1.1 – Ritmo y causas de la deforestación tropical	2
Sección 1.2 – Consecuencias de la deforestación tropical	5
Sección 1.3 – ¿Qué es la restauración de bosque?	12
Sección 1.4 – Los beneficios de la restauración de bosques	15
Estudio De Caso 1 – Cristalino	20
CAPÍTULO 2 – Comprendiendo los bosques tropicales	23
Sección 2.1 – Tipos de bosques tropicales	24
Sección 2.2 – Comprender la regeneración de los bosques	45
Sección 2.3 – Cambio climático y restauración	61
CAPÍTULO 3 – Reconociendo el problema	65
Sección 3.1 – Reconociendo los niveles de degradación	66
Sección 3.2 – Una rápida evaluación del sitio	72
Sección 3.3 – Interpretar los datos de una evaluación rápida del sitio	74
Estudio De Caso 2 – Restauración de bosque litoral en el sureste de Madagascar	82
CAPÍTULO 4 – Planificación de la restauración de bosques	86
Sección 4.1 – ¿Quiénes son las partes interesadas?	87
Sección 4.2 – Definiendo los objetivos	88
Sección 4.3 – Incorporando los bosques en el paisaje	90
Sección 4.4 – La elección de los sitios a restaurar	95
Sección 4.5 – Hacer un borrador del plan del proyecto	101
Sección 4.6 – Obtención de fondos	108
CAPÍTULO 5 – Herramientas para restaurar bosques tropicales	110
Sección 5.1 – Protección	111
Sección 5.2 – Regeneración natural ‘asistida’ o ‘acelerada’ (RNA)	118
Sección 5.3 – El método de las especies ‘framework’	124
Sección 5.4 – Los métodos de máxima diversidad	137
Sección 5.5 – Mejora del sitio y plantaciones nodriza	139
Sección 5.6 – Costos y beneficios	146
Estudio De Caso 2 – Área de Conservación Guanacaste (ACG)	149
CAPÍTULO 6 – Producir tus propios árboles	152
Sección 6.1 – Construcción de un vivero	153
Sección 6.2 – Recolección y tratamiento de semillas de árboles	156
Sección 6.3 - Germinación de semillas	166

Sección 6.4 – Trasplante	171
Sección 6.5 – Cuidado de los árboles en el vivero	180
Sección 6.6 – Investigar para mejorar la propagación de los árboles nativos	189
Estudio De Caso 4 – Doi Mae Salong: Clubs de Tesoro de Árboles	214
CAPÍTULO 7 – Plantación de árboles, mantenimiento y seguimiento	216
Sección 7.1 – Preparando para plantar	217
Sección 7.2 – Plantación	222
Sección 7.3 – Cuidado de los árboles plantados	229
Sección 7.4 – El seguimiento del progreso	231
Sección 7.5 – Investigación para mejorar el rendimiento de los árboles	240
Sección 7.6 – Investigación de la recuperación de la biodiversidad	251
Estudio De Caso 5 – Distrito de Kalro	260
CAPÍTULO 8 – Estableciendo una unidad de investigación de restauración de bosque	263
Sección 8.1 – Organización	264
Sección 8.2 – Trabajando a todos los niveles	267
Sección 8.3 – Financiamiento	275
Sección 8.4 – Gestión de la información	276
Sección 8.5 – Seleccionando especies de árboles adecuadas	282
Sección 8.6 – Divulgando: educación y servicios de extensión	286
Estudio De Caso 6 – Unidad de Restuaración de Bosque de la Universidad de Chiang Mai (FORRU-CMU)	293
APÉNDICES	
A1 – Plantillas para hojas de recolección de datos	296
A2 – Diseño experimental y pruebas estadísticas	307
GLOSARIO	316
REFERENCIAS	320
ÍNDICE	332



CLARENCE HOUSE

Como Presidente de Honor de la Fundación y Amigos del Royal Botanic Gardens, Kew, estoy encantado de que se me hubiera pedido contribuir con un prefacio para este maravilloso libro, '*Restauración de Bosques Tropicales: un Manual Práctico*'. Sólo puedo felicitar a los autores por su logro, y desear que todos aquellos que implementan sus claras y prácticas medidas, de cómo restaurar bosques tropicales alrededor del mundo – en Sudamérica y Centroamérica, África y Asia – todo el éxito posible en sus esfuerzos de vital importancia.

La naturaleza tiene una capacidad notable, si se le da la oportunidad, de recuperarse y renovarse a sí misma, y es por esta razón sobre todo, por lo que creo que este libro es tan bienvenido. Me atrae particularmente su énfasis en la necesidad de restaurar los ricos bosques tropicales, con especies nativas donde sea posible; su descripción de cómo involucrar, de la mejor manera posible, a las comunidades locales en las iniciativas de restauración y su hincapié en la necesidad de paisajes y silvopastoreo para la restauración de bosques, me parecen todos absolutamente cruciales.

Estoy también intrigado por la explicación que da el libro sobre la 'rainforestation', una técnica que fue pionera en Filipinas, mediante la cual se plantan especies nativas para restaurar la integridad ecológica y la biodiversidad, a la vez que se produce una gama diversa de maderas y otros productos forestales para los pobladores locales.

Durante muchas décadas, he estado profundamente preocupado por la grave situación de los bosques tropicales del mundo, inspirado tanto por la grandeza atemporal y la extraordinaria diversidad biológica y cultural que albergan, como por el profundo conocimiento, de que ni la humanidad ni la Tierra misma, podrían sobrevivir sin ellos, particularmente de cara al cambio climático global. Con esto en mente, hace algunos años establecí mi propio Proyecto de Bosques Tropicales, con la esperanza de atraer la atención a la urgente necesidad de establecer un acuerdo internacional para proteger los bosques, acoplado a un mecanismo financiero – R.E.D.D.+ – con la intención de contribuir a esta protección a la escala requerida. Desde entonces, me he sentido alentado por el progreso hecho en muchos países, incluyendo Brasil, pero tengan en cuenta que las presiones globales sobre nuestros bosques restantes, siguen siendo agudas. La restauración juega un papel fundamental, en avanzar estos esfuerzos en los años por venir.

Wangaari Maathai, cuya muerte todos seguimos lamentando, dijo, 'Nos debemos la conservación del medioambiente a nosotros mismos y a la siguiente generación, de modo que podamos legar a nuestros hijos un mundo sostenible que nos beneficie a todos'. ¿Qué mejor lugar para empezar, que las sólidas recomendaciones y los pasos prácticos presentados en este libro?

PREFACIO

"Un roce de la naturaleza hermana a todo el mundo".
William Shakespeare, de *Troilus and Cressida*, 1601–1603

Hace 20 años, cuando nuestra Unidad de Investigación de Restauración de Bosques en la Universidad de Chiang Mai (FORRU-CMU) no era más que unos cuantos puntos clave escritos en el reverso de un sobre, el declive de los bosques tropicales del mundo, se veía como la consecuencia inevitable e irreversible del desarrollo económico. Muchos creían que la idea que los ecosistemas de los bosques tropicales pudieran en realidad ser restaurados era un idealismo ingenuo. Los científicos pensaban que los bosques tropicales, eran demasiado complejos para poder ser reconstruidos, mientras que las ONGs dedicadas a la conservación de bosques consideraban la idea como una distracción innecesaria del deber vital de patrocinar la protección de los bosques primarios restantes. Incluso uno de los primeros patrocinadores de nuestra unidad observó cándidamente que consideraba el concepto como 'conservación de salón'.

Hoy en día, afortunadamente, las actitudes han experimentado un cambio paradigmático. La restauración es vista como complementaria a la protección de bosques primarios, especialmente donde las áreas protegidas hayan fracasado en prevenir la deforestación. Dos décadas de investigación han producido métodos probados y comprobados, que han conseguido que la restauración de bosques pase de ser un sueño romántico imposible a una meta alcanzable. Al combinar la capacidad regenerativa de la naturaleza, con plantación de árboles y otras prácticas de manejo, es ahora posible restaurar rápidamente tanto la estructura, como el funcionamiento ecológico de los bosques tropicales, y así lograr una recuperación sustancial de la biodiversidad, a los 10 años de iniciar las actividades de restauración. Las organizaciones de conservación reconocen ahora la restauración como vital, para revivir paisajes degradados y mejorar los sustentos rurales, al proveer una diversa gama de productos forestales y desarrollar programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Su inclusión en el esquema REDD+¹ de la ONU, para 'mejorar las reservas de carbono' y mitigar el calentamiento global, ha resultado en una demanda sin precedentes de conocimiento, habilidades y capacitación en restauración de bosques. Este conocimiento es vital para permitir que los países tropicales en desarrollo, puedan recaudar dinero en efectivo en el mercado global con créditos de carbono, a la vez que reducen la pérdida de su biodiversidad y satisfacen las necesidades de las comunidades locales. Pero hasta ahora, se ha publicado muy poco asesoramiento práctico para satisfacer esta demanda.

Este libro busca proporcionar dicho asesoramiento. Presenta técnicas científicamente probadas, para la restauración de diversos ecosistemas de bosques tropicales clímax, que son resistentes al cambio climático, usando especies de árboles de bosques nativos para la conservación de la biodiversidad y la protección ambiental, y para apoyar los sustentos de las comunidades rurales. Está basado en más de 20 años de investigación, a cargo de la FORRU-CMU, así como en el conocimiento y la experiencia local, intercambiados a lo largo de los últimos 20 años en cientos de talleres, conferencias y consultorías de proyectos. Nombres de plantas en este libro siguen, por lo general, los que figuran como «aceptadas» en el sitio web Theplantlist.org, en junio de 2013.

Nuestro libro presenta conceptos y prácticas genéricas que pueden ser aplicados para revivir ecosistemas forestales en todos los continentes tropicales, en un formato accesible e inicialmente en tres idiomas (inglés, francés, español). Incluye casos de estudios que ilustran una diversidad de proyectos de restauración exitosos alrededor del mundo. Está destinado a todas las partes interesadas, cuya colaboración es vital para el éxito de proyectos de restauración. Proporciona a los planificadores, políticos y agencias patrocinadoras con

¹ 'Reducir las emisiones de la deforestación y degradación de bosques' —un conjunto de políticas e incentivos, que se están desarrollando bajo la Convención Marco de la ONU sobre el Calentamiento Global (UNFCCC), para reducir las emisiones de CO₂ derivadas del despeje y la quema de bosques tropicales. www.scribd.com/doc/23533826/Decoding-REDD-RESTORATION-IN-REDD-Forest-Restoration-for-Enhancing-Carbon-Stocks
http://cmsdata.iucn.org/downloads/redd_scope_spanish.pdf


alternativas a las plantaciones de mono-cultivos convencionales, las cuales pueden ser usadas para lograr sus objetivos de reforestación. Para los administradores de áreas protegidas, las comunidades y las ONGs que trabajan con ellos, el libro provee un sólido asesoramiento sobre la planificación de proyectos de restauración, así como instrucciones científicamente probadas para producir, plantar y cuidar especies de árboles de bosques nativos. Y para los científicos, el libro sugiere decenas de ideas para proyectos de investigación y provee detallados protocolos de investigación estandarizados, que se pueden utilizar para desarrollar nuevos sistemas de restauración que satisfagan las necesidades locales. Incluso hay un apéndice de plantillas para hojas de recolección de datos, de modo que los investigadores puedan coleccionar conjuntos de datos que sean comparables con los que se están replicando ahora en las FORRU de varios países.

La continua destrucción de bosques tropicales es probablemente la mayor amenaza para la biodiversidad de nuestro planeta. Aunque la conciencia del problema y la voluntad de resolverlo, nunca hayan sido mayores, cualquier esfuerzo sería inefectivo sin una asesoría práctica y científicamente bien fundada. Por ello, esperamos que este libro no solamente inspire a más gente a involucrarse para salvar los bosques tropicales de la Tierra, sino también a procurarse las herramientas eficaces para hacerlo.

Stephen Elliott

Email: stephen_elliott1@yahoo.com

Página web: www.forru.org

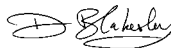
 Página en Facebook: Forest Restoration Research Unit



David Blakesley

Email: David.Blakesley@btinternet.com

Página web: www.autismandnature.org.uk



Kate Hardwick

Email: k.hardwick@kew.org

Página web: www.kew.org



AGRADECIMIENTOS

Este libro es el principal resultado de nuestro proyecto titulado 'Restauración de Bosques Tropicales: un Manual Práctico', patrocinado por la Darwin Initiative del Reino Unido. Estamos muy agradecidos por el apoyo de la Darwin Initiative por hacerse cargo de los costos de la producción de este manual, a Royal Botanic Gardens Kew, por proveer servicios internos, a John Ellerman Foundation por financiar a Kate Hardwick, a Kew Publishing, especialmente a Sharon Whitehead por la corrección de los textos y a Margaret Newman por el diseño, y al Millennium Seed Bank Partnership y Man Group plc, que cubrieron los costes adicionales.

El libro está sustancialmente basado en el trabajo en la Unidad de Investigación de Restauración de Bosques de la Universidad de Chiang Mai, al norte de Tailandia, y los autores desean aprovechar esta oportunidad para manifestar su agradecimiento a todo el personal de la unidad, pasados y presentes, cuya dedicada investigación ha contribuido al contenido del libro, especialmente a Sutthathorn Chairuangsi, Jatupoom Meesana, Khwankhao Sinhaseni y Suracheat Wongtaewon. El Embajador de la Juventud de Australia, Robyn Sakara, financiado por Biotropica Australia Plc, y el investigador principal de la FORRU Panitnart Tunjai, contribuyeron significativamente a los Capítulos 2 y 5, respectivamente.

Estamos también agradecidos a todos aquellos que contribuyeron con textos, fotos e información: Dominique Andriambahiny, Sutthathorn Chairuangsi, Hazel Consunji, Elmo Drilling, Patrick Durst, Simon Gardner, Kate Gold, Daniel Janzen, Cherdasak Kuaraksa, Roger Leakey, Paciencia Milan, William Milliken, David Neidel, Peter Nsiimire, Andrew Powling, Johnny Rabenantoandro, Tawatchai Ratanasorn, Khwankhao Sinhaseni, Torunn Stangeland, John Tabuti y Manon Vincelette.

Las fotos son en su mayoría de Stephen Elliott y del personal de la FORRU-CMU. Los dibujos son de Damrongchai Saengkhom y del difunto Surat Plukam. Sin embargo, también estamos agradecidos a muchas otras personas que aportaron fotografías e ilustraciones, incluyendo: Andrew McRobb y otros contribuyentes de la fototeca de Kew, la NASA, IUCN por los mapas, Tidarach Toktang, Kazue Fujiwara, Cherdasak Kuaraksa y Khwankhao Sinhaseni.

También agradecemos a todos los revisores de secciones o capítulos del manuscrito por sus útiles sugerencias: Peter Ashton, Peter Buckley, Carla Catterall, John Dickie, Mike Dudley, Kazue Fujiwara, Kate Gold, David Lamb, Andrew Lowe, David Neidel, Bruce Pavlik, Andrew Powling, Moctar Sacande, Charlotte Seal, Roger Steinhart, Nigel Tucker, Prasit Wangpakapatanawong y Oliver Whaley.

Estamos especialmente agradecidos a Val Kapos y Corinna Ravilious (WCMC) por los mapas reproducidos en el Capítulo 2.

Agradecemos a Joseph Agbor, Etame Parfait Marius y Claudia Luthi la traducción de este libro al francés y al español, respectivamente, y a Norbert Sonne y Maite Conde-Prendes la revisión y corrección de las traducciones. Gracias también a Teresa Gil Gil, Juli Caujapé Castells, Carlos Magdalena y Paulina Hechenleitner Vega por su ayuda en la traducción de términos técnicos.

Todas las opiniones expresadas en este libro son de los autores, y no necesariamente de los patrocinadores o revisores. Los compiladores desean aprovechar esta oportunidad, para agradecer a todos aquellos que no hayan sido mencionados anteriormente, y que hayan contribuido de alguna manera al trabajo de la FORRU-CMU y la producción de este libro. Finalmente, estamos agradecidos al departamento de Biología, de la Facultad de Ciencia de la Universidad Chiang Mai, por el apoyo institucional a la FORRU-CMU desde su inicio, y East Malling Research, Wildlife Landscapes y RBG Kew por el apoyo institucional a la investigación de la Darwin Initiative y al programa de capacitación a lo largo de los años.

CAPÍTULO 7

PLANTACIÓN DE ÁRBOLES, MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO

Sacar un árbol de su contenedor y plantarlo firmemente en el suelo, es probablemente la imagen prototípica de la restauración de bosques. Representa la culminación de meses de planificación, colecta de semillas y trabajo en el vivero. Sin embargo, de ninguna manera es el fin del proceso de la restauración de bosques. Los sitios desforestados son lugares de condiciones extremas: expuestos, soleados y calientes, y frecuentemente alternados entre estar resecos y anegados. Si a los árboles no se les da el cuidado adecuado, a lo largo de los primeros dos años después de plantados, muchos morirán y el esfuerzo invertido en producirlos habrá sido en vano. Se subestiman muchas veces la mano de obra y los materiales requeridos para asegurar que los árboles plantados se desarrollen bien. Frecuentemente, los presupuestos son bajos o no se consiguen trabajadores, lo que a veces resulta en el fracaso del proyecto y la necesidad de empezar todo de nuevo. Es por ello una economía falsa ahorrar en el mantenimiento post-plantación. El seguimiento es otro deber que se descuida con frecuencia, y que es esencial, no solamente para proveer datos de la supervivencia y crecimiento de los árboles, sino también para proveer una oportunidad de aprender de éxitos y fracasos pasados. El seguimiento es ahora un factor requerido para todos los proyectos de restauración, que son financiados a través del mercado de carbono.

7.1 Preparando la plantación

Optimizar la época de la plantación de árboles

El tiempo óptimo para plantar árboles depende de la disponibilidad del agua del suelo. En áreas que tienen un clima estacional, los árboles deben ser plantados al comienzo de la estación de lluvia, una vez que la lluvia es regular y fiable. Esto da a los árboles el tiempo máximo para desarrollar un sistema de raíces, que penetra profundamente en el suelo, permitiéndoles obtener suficiente agua para sobrevivir la primera estación de sequía, después de haber sido plantados. En lugares donde las precipitaciones pluviales son más regulares a lo largo del año (es decir, ningún mes tiene menos de 100 mm), probablemente se puedan plantar árboles durante todo el año.

Preparar el sitio de restauración

Primero, toma las medidas para proteger a todos los árboles, plántulas o tocones vivos naturalmente establecidos. Inspecciona rigurosamente las parcelas, cuidando de no pasar por alto las plántulas más pequeñas, que podrían estar ocultas entre la maleza. Coloca un poste de bambú con un color vivo al lado de cada planta y usa un azadón para eliminar la maleza en un área de 1.5 m de diámetro, alrededor de cada planta. Esto hace que los recursos naturales de la regeneración del bosque sean más visibles para los trabajadores, de modo que eviten dañarlos mientras desmalezan o plantan árboles. Deja bien claro a cada uno de los que trabajan en las parcelas, la importancia de preservar estos recursos naturales de la regeneración de bosques.

Aproximadamente 1–2 semanas antes de la fecha de plantación, despeja todo el sitio de las malezas herbáceas, para mejorar el acceso y reducir la competencia entre malezas y árboles (tanto naturales como plantados). La técnica del aplastamiento de la maleza, frecuentemente usada para la RNA, detallada en la **Sección 5.2**, podría ser adecuada para sitios que son dominados por pastos y hierbas suaves (no leñosas). Donde el aplastamiento de la maleza no es efectivo, sin embargo, las malezas deben ser desenterradas desde sus raíces. Primero, desbroza la maleza hasta unos 30 cm, luego desentierra las raíces con un azadón y deja que se sequen en la superficie del suelo. Asegúrate de tener a mano un botiquín de primeros auxilios para tratar cualquier accidente.

Remover las raíces de las malezas

El desbroce por sí solo anima a muchas especies de malezas a rebrotar. Al hacerlo, absorben más agua y nutrientes del suelo que si nunca hubiesen sido cortadas. Esto, en verdad, intensifica la competencia de las raíces con los árboles plantados, en vez de reducirla. De manera que, es esencial desenterrar las raíces de las malezas, aunque la mano de obra requerida para hacerlo es considerable. Desafortunadamente, desenterrar raíces también perturba el suelo, incrementando el riesgo de erosión del mismo. Además existe un riesgo significativo de, accidentalmente, cortar plántulas de árboles naturalmente establecidos. Por esta razón, y para reducir los costos de mano de obra, recomendamos usar glifosato para despejar las parcelas de plantación (pero NO para desmalezar después de la plantación).

Uso de herbicida

Usar un herbicida sistémico de acción lenta, de amplio espectro, como glifosato (que está disponible en varias fórmulas) puede incrementar enormemente la eficacia de desmalezar, reducir costos y evitar la necesidad de perturbar el suelo. Este tipo de herbicidas mata la planta entera, y así previene que las malezas se regeneren rápidamente a través del crecimiento vegetativo.



Espera a que la maleza desbrozada vuelva a brotar antes de fumigarla con un herbicida no-residual, como glifosato. Ponte ropa apropiada que te proteja como indica la hoja de información que acompaña al producto – normalmente guantes, botas de goma, gafas de seguridad y ropa impermeable.

Desbroza las malezas hasta debajo de la altura de las rodillas, por lo menos 6 semanas antes de la fecha de plantación. Deja la vegetación cortada en el sitio, ya que ayudará a proteger el suelo de la erosión y posteriormente puede ser usado como mulch alrededor de los árboles plantados. Espera al menos 2–3 semanas hasta que las malezas vuelvan a brotar; luego fumiga los brotes nuevos con glifosato.

¿Cómo funciona el glifosato?

El glifosato mata la mayoría de las plantas, sólo unas pocas especies son resistentes. Se descompone rápidamente en el suelo (es decir, es no-residual) y así, al contrario de algunos otros pesticidas (por ejemplo, el DDT), no se acumula en el medio ambiente. El químico es absorbido a través de las hojas y es trasladado a todas las partes de la planta, incluyendo las raíces. Las malezas se mueren lentamente, gradualmente volviéndose marrones a lo largo de 1–2 semanas, y la única manera en la que pueden re-colonizar el sitio es creciendo a través de las semillas. Esto tarda mucho más tiempo que re-brotar de raíces de malezas desbrozadas. De manera que los árboles recién plantados tienen aproximadamente 6–8 semanas, para estar relativamente libres de la competencia de las malezas. Durante este tiempo, sus raíces pueden colonizar el suelo que anteriormente estuvo completamente ocupado por las raíces de las malezas.

¿Cómo debe aplicarse el glifosato?

Aplica el herbicida en un día seco y sin viento, para prevenir que se derive a las plántulas de árboles que se están regenerando naturalmente. No fumigues si se pronostican lluvias para las 24 horas después de la aplicación. A las pocas horas de fumigar, la lluvia e incluso el rocío, puede dejar sin efecto al químico.

En comunidades agrícolas se podrán conseguir grandes bombas montadas en camionetas y mangueras largas, que se usan para fumigar los cultivos, pero no son muy precisas y su uso hace difícil evitar fumigar a la regeneración natural. Por ello, recomendamos el uso de bombas de espalda de 15 litros con boquillas pulverizadoras direccionales, montadas en largas varas.

Vierte 150 ml del concentrado de glifosato en una bomba de espalda de 15 litros y llena hasta la marca de los 15 litros con agua limpia. Tendrás que repetir esto 37–50 veces (equivalente a 5.6–7.5 litros de concentrado) por hectárea. También deberías incluir un agente humectante, para facilitar la absorción del químico por las malezas.

Comprueba la dirección del viento y trabaja con el viento a tu espalda, de modo que el spray vuele hacia adelante y no hacia tu cara. Bombea la presión en tu bomba de espalda con la mano izquierda y opera la vara con el pulverizador con la derecha. Usa una presión baja para producir gotas grandes, que se hundan rápidamente, antes de que puedan derivarse muy lejos. Camina lentamente a través del sitio, pulverizando franjas de 3 m de ancho, haciendo suaves barridos de un lado a otro frente a ti. Si accidentalmente fumigas la plántula de un árbol, arranca inmediatamente cualquier hoja a la que le hayan caído gotas del herbicida, para que el químico no sea absorbido por la planta y transportado a las raíces. Para evitar fumigar la misma área dos veces, añade un tinte al glifosato, de modo que puedas ver donde has fumigado. Si accidentalmente el químico entrara en contacto con tu piel o tus ojos, lávate con grandes cantidades de agua y vete a un médico.

Lo antes posible después de fumigar, toma una ducha y lava toda la ropa usada durante la fumigación. Lava todo el equipo usado (bomba, botas y guantes) con grandes cantidades de agua. Asegúrate de que el agua usada no se mezcle con el suministro de agua potable; deja que se filtre lentamente en un sumidero o en el suelo donde no haya vegetación, lejos de cualquier curso de agua.

¿El glifosato es peligroso?

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) considera que el glifosato es relativamente bajo en toxicidad y no tiene efectos cancerígenos. Se descompone rápidamente en el medio ambiente y no se acumula en el suelo. Es clasificado como el menos peligroso, comparado con otros herbicidas y pesticidas. No obstante, si las instrucciones básicas de seguridad son ignoradas, el glifosato puede dañar la salud de las personas y del medio ambiente, de modo que lee las instrucciones provistas por el fabricante antes de usarlo y síguelas con cuidado. La ingestión de la solución concentrada puede ser letal.

Una vez diluido para su uso el glifosato tiene una baja toxicidad para mamíferos (incluido humanos), pero es tóxico para los animales acuáticos, de modo que no limpies ningún equipo en las corrientes de agua o lagos. Las investigaciones también están empezando a mostrar que el glifosato podría estar afectando a los organismos del suelo. Estos efectos menores potencialmente dañinos del químico en el medio ambiente, deben sin embargo, ser sopesados contra las consecuencias dañinas a largo plazo, del fracaso de la restauración de los ecosistemas del bosque. El glifosato se usa una sola vez, al comienzo del proceso de restauración del bosque. No se recomienda el uso de herbicidas después de la plantación de árboles (es.wikipedia.org/wiki/Glifosato).

No se debe usar fuego para despejar el sitio

El fuego mata los árboles jóvenes establecidos naturalmente, mientras que estimula el rebrote de algunos pastos perennes y otras malezas. También mata micro-organismos benéficos como los hongos micorriza y previene la oportunidad de usar las malezas cortadas como mulch. Si se usa fuego, la materia orgánica se quema y los nutrientes del suelo se pierden con el humo. Además, los fuegos que se inician con la intención de despejar una parcela de plantación, se pueden propagar fuera de control con el riesgo de dañar bosques o cultivos vecinos.

¿Cuántos árboles jóvenes se deben incorporar?

La densidad final combinada de árboles plantados y árboles naturalmente establecidos, debe ser de alrededor de 3,100 por ha, de modo que el número requerido de árboles jóvenes proporcionados debe ser esta figura, menos el número de árboles naturalmente establecidos o tocones vivos de árboles estimados durante la inspección del terreno (ver **Sección 3.2**). Esto resulta en un espaciamiento medio de 1.8 m entre los árboles jóvenes plantados, o la misma distancia entre árboles jóvenes plantados y árboles naturalmente establecidos (o tocones vivos). Esto es mucho menor que el espaciamiento usado en la mayoría de plantaciones forestales comerciales, porque el objetivo es el rápido cierre de copas que sombrearán las malezas y eliminará los costos del trabajo de desmalezar. La sombra es el herbicida más efectivo y amigable del medio ambiente. Plantar menos árboles crea una necesidad continua de desmalezar a lo largo de muchos años y, en consecuencia, aumenta los costos de mano de obra requerida para lograr el cierre de la canopia.

El espaciamiento usado en la restauración de bosques es menor que el existente entre los árboles de la mayoría de bosques naturales, de modo que tendrá lugar el raleo natural a causa de la alta competencia. Esto provee al ecosistema restaurado con una fuente temprana de madera muerta, un recurso vital para tantos hongos e insectos del bosque. Plantar en densidades más altas es contraproducente, ya que deja muy poco espacio para el establecimiento de especies de árboles reclutadas y por ello, demora la recuperación de la biodiversidad (Sinhaseni, 2008).

¿Cuántas especies de árboles deben ser plantadas?

Para una parcela con degradación fase-3, cuenta cuántas especies de árboles están bien representadas por los recursos de la regeneración natural registrada en la inspección del terreno (ver **Sección 3.2**) y proporciona suficientes especies para colmar ese número, al menos 30 o alrededor del 10% de la riqueza de especies estimada (si fueran conocidos) del tipo bosque-objetivo (ver **Sección 4.2**). Para una parcela con degradación fase-4, planta tantas especies del bosque-objetivo como sea posible. Las plantaciones nodrizas pueden ser monocultivos de una única especie o mezclas de algunas especies (por ejemplo, *Ficus* spp. + leguminosas; ver **Sección 5.5**).

El transporte de los árboles jóvenes

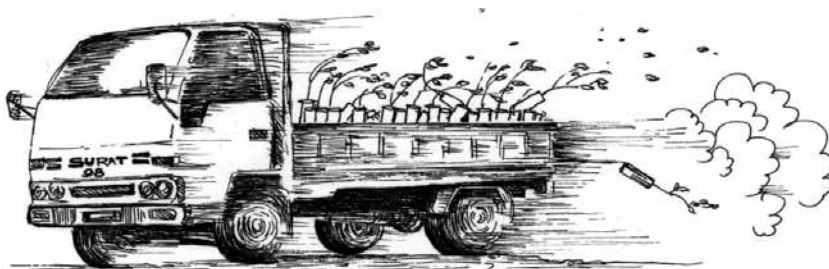
Los árboles jóvenes son muy vulnerables, particularmente a la exposición del viento y del sol, una vez que han abandonado el vivero, de modo que sé cuidadoso al transportarlos al sitio. Selecciona los árboles jóvenes más vigorosos del vivero, después de la clasificación y el endurecimiento (ver **Sección 6.5**). Provee con etiquetas los árboles jóvenes que quieres incluir en el programa de monitoreo, luego colócalos en posición erecta (para prevenir que se derrame el sustrato de trasplante) en canastas fuertes. Riega los arbolitos justo antes de cargarlos al vehículo, y transportalos a la parcela de plantación un día antes de plantar.

Si se está usando bolsas de plástico como contenedores, no los cargues tan apretados que se deformen. Tampoco apiles los contenedores uno encima de otro, ya que se pueden romper raíces y tallos. Si se usa una camioneta abierta, cubre los árboles con una malla de sombra para protegerlos del viento y de la deshidratación. Conduce lentamente. Una vez que se ha llegado a las parcelas, coloca los árboles en forma erecta en la sombra disponible y, si fuera posible, riégalos ligeramente otra vez. Si tienes suficientes canastas, mantén los árboles jóvenes dentro de éstas, ya que facilita cargarlos alrededor de la parcela a la hora de plantarlos.

Protege los árboles jóvenes en el camino al sitio de restauración.



REDUCE LA VELOCIDAD! No tires por la borda todo un año de trabajo en el vivero en el viaje al sitio de plantación. Cuando estés transportando los árboles jóvenes, conduce con cuidado.





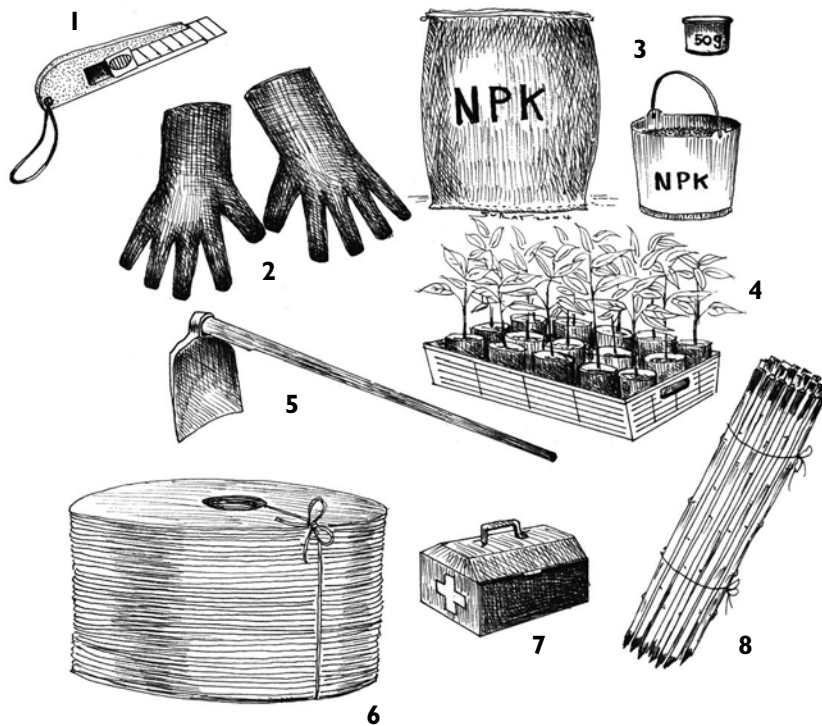
Carga los árboles jóvenes al sitio de restauración así ...

... no así (daña los tallos) ...

... y no los dejes expuestos.

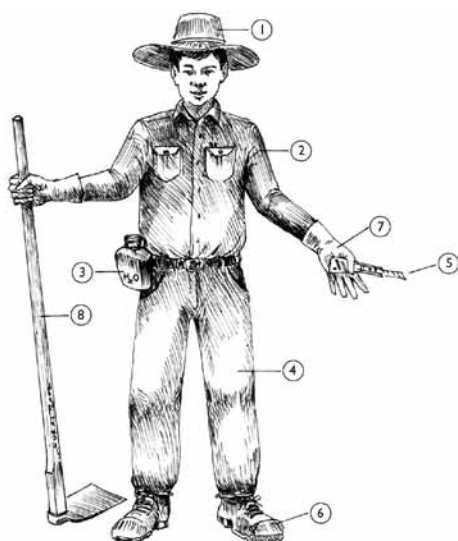
Materiales y equipo de plantación

El día antes de plantar, transporta las herramientas y los árboles jóvenes, a las parcelas de plantación. Estos incluyen un poste de bambú y materiales de mulch (si fuese necesario) para cada joven árbol, al igual que fertilizante. Protege estos materiales de la lluvia, cubriéndolos con una lona.



1. Cuchillo
2. Guantes
3. Fertilizante, balde y tazas de medir para proporcionar la dosis correcta
4. Canastas para la distribución de los árboles jóvenes
5. Azadones para cavar huecos
6. Alfombrillas de mulch
7. Botiquín de primeros auxilios
8. Postes de bambú

¿Otras preparaciones para el gran día?



El plantador perfectamente preparado, con (1) un sombrero para la protección contra el sol; (2) una camisa de manga larga; (3) suficiente agua para beber; (4) pantalones largos; (5) un cortaplumas para abrir las bolsas de plástico; (6) fuertes botas; (7) guantes y (8) un azadón para cavar los huecos de plantación.

Unos cuantos días antes del evento de plantación, convoca una reunión de todos los organizadores del proyecto. Asigna un jefe de equipo para cada grupo de plantadores. Asegúrate de que cada jefe de equipo, esté familiarizado con las técnicas de plantación y sepa de qué área es responsable, y cuántos árboles debe plantar. Usa una tasa de plantación de 10 árboles por hora, para calcular el número de personas requeridas para completar la plantación dentro del plazo deseado.

Pide a los jefes de equipo que les digan a sus miembros de grupo que lleven guantes, cortaplumas (para abrir las bolsas de plástico), baldes, azadones o pequeñas palas (para llenar los huecos de plantación) y tazas (en caso de que se vaya a aplicar fertilizante). Adicionalmente, los jefes de equipo deben aconsejar a los plantadores que lleven una botella con agua y se pongan sombrero, zapatos fuertes, camisa de mangas largas y pantalones largos.

Haz un estimado final de las personas que participarán en el evento de plantación. Organiza suficientes vehículos para llevarlos a todos a las parcelas de plantación, y consigue suficiente comida y bebida para mantener a todos bien alimentados e hidratados. Haz un plan de contingencia en caso de mal clima. Finalmente, considera si el proyecto o la comunidad local podrían beneficiarse de un cubrimiento del evento por los medios locales y, si fuera el caso, contacta a periodistas y organismos de difusión de radio y televisión.

7.2 Plantación



El entusiasmo por sí solo no basta. Un poco de entrenamiento al comienzo del evento de plantación, ayuda a evitar errores costosos.

Los eventos de plantación de árboles hacen mucho más que plantar árboles en el suelo. Dan una oportunidad a los pobladores ordinarios, de involucrarse directamente en mejorar su medio ambiente. También son eventos sociales que ayudan a formar un espíritu de comunidad. Además, el cubrimiento de los medios de un evento de plantación puede proyectar una imagen positiva de la comunidad, como mayordomos responsables de su medio ambiente natural. La plantación de árboles también puede tener una función educacional. Los participantes aprenden no solamente cómo plantar árboles, sino también por qué. Tómate tiempo al comienzo del evento, para demostrar las técnicas de plantación que se van a usar y asegúrate de que todos hayan comprendido los objetivos del proyecto de reforestación. También aprovecha la oportunidad, para invitar a todos a participar en las operaciones subsiguientes, tales como desmalezar, aplicar fertilizante y prevenir incendios.

Distancias de espaciamento

Primero, marca dónde ha de ser plantado cada árbol, con un palo de bambú de 50 cm cortado por el medio. Clava los palos a una distancia de 1.8 m la una de la otra, o a la misma distancia de los árboles naturalmente establecidos o de tocones de árboles vivos. Trata de no colocar los palos en líneas rectas. Una disposición casual dará una estructura más natural al bosque restaurado. Esta actividad de colocación de los palos, se puede hacer el mismo día de plantación o algunos días antes.



Método de plantación

Usa canastas para distribuir un árbol joven en cada palo de bambú. Mezcla las especies, de manera que los árboles jóvenes de la misma especie no se planten juntos los unos a los otros. Esta plantación 'al azar' es conocida como 'mezcla íntima'.

Usa bambú partido por la mitad para marcar el espaciamento de los árboles.



Se pueden usar canastas y carretillas para llevar los árboles jóvenes a sus huecos de plantación.

Al costado de cada palo de bambú, cava un hueco con un azadón que tenga al menos el doble del tamaño del contenedor del árbol joven, preferiblemente con costados inclinados (romper el suelo alrededor del sistema de raíces también ayudará a las raíces a establecerse). Al mismo tiempo usa un azadón para quitar malezas muertas, en un círculo de 50–100 cm de diámetro alrededor del hueco.

Si los árboles jóvenes están solamente en bolsas de plástico, abre cada bolsa con un cortaplumas, cuidando de no dañar el conjunto de raíces, y suavemente pela la bolsa de plástico. Trata de mantener el sustrato de trasplante alrededor del conjunto de raíces intacto, y no expongas las raíces al aire durante más de unos segundos, si es posible.



Cava huecos el doble del tamaño de los contenedores de los árboles jóvenes.



Cuidadosamente corta las bolsas de plástico y pélasas.



El día de la plantación puede disfrutarse con toda la familia.

Coloca al árbol joven en posición erecta en el hueco y llena el espacio alrededor del conjunto de raíces con suelo suelto, asegurándote de que el cuello de raíces del árbol joven esté finalmente a nivel de la superficie del suelo. Si el árbol joven ha sido etiquetado para el monitoreo, asegúrate de que la etiqueta no esté enterrada. Con las palmas de tus manos, presiona el suelo alrededor del tronco del árbol para afirmarlo. Esto ayuda a juntar los poros del medio del vivero con los del suelo de la parcela, y así re-establecer rápidamente el suministro de agua y oxígeno a las raíces del árbol. Normalmente no es necesario atar el árbol al palo de bambú como apoyo. Los palos son usados simplemente para localizar dónde se debe plantar cada árbol.

A continuación, aplica 50–100 g de fertilizante alrededor del arbolito a 10–20 cm de distancia del tronco. Puede haber quemaduras químicas si el fertilizante entra en contacto con el mismo tronco. Usa tazas de medición para aplicar la dosis correcta de fertilizante. Ten en cuenta que los fertilizantes químicos son normalmente caros y quizás no sean necesarios para todos los sitios.



Presiona el suelo alrededor del tronco para afirmarlo.



Usa tazas de medida para proporcionar la dosis correcta de fertilizante.



Alfombrillas de mulch de cartón son particularmente efectivas para suelos secos y degradados. En suelos más húmedos y fértiles, desaparecen demasiado rápido.

Luego (opcionalmente) coloca una alfombrilla de cartón de 40–50 cm de diámetro, alrededor de cada árbol plantado. Fija la alfombrilla en su lugar, atravesándola con estacas de bambú y amontona las malezas muertas encima de la alfombrilla del mulch.

Si hay un suministro de agua cerca, riega cada árbol plantado con al menos 1–3 litros al final del evento de plantación. Se puede alquilar un tanque de agua, para llevar agua a los sitios que son accesibles por carretera, pero distantes de suministros naturales de agua. Para sitios inaccesibles, sin agua disponible por carretera, fija la fecha del evento de plantación cuando se pronostique lluvia.



Para sitios secos inaccesibles, planta árboles cuando se pronostique lluvia, pero si es posible regar los árboles después de plantarlos, hazlo. Bombea agua de una corriente o proporcióнала mediante un tanque de agua.



Remueve las bolsas de plástico para limpiar el sitio.

La tarea final es limpiar el sitio de todas las bolsas de plástico, palos de bambú o alfombrillas de cartón sobrantes, y de la basura. Los jefes de grupo deben agradecer personalmente a todos aquellos que toman parte en el evento de plantación. Un evento social también es una buena manera de agradecer a los participantes y formar un apoyo para futuros eventos

Elegir un fertilizante químico o inorgánico

Determinar si el suelo de un sitio tiene deficiencias nutricionales, requiere análisis químicos costosos y acceso a laboratorios (ver **Sección 5.5**). Raras veces vale la pena, sin importar la fertilidad del suelo, la mayoría de árboles tropicales responden bien a la aplicación de un fertilizante químico de propósitos generales (N:P:K 15:15:15) 3–4 veces al año durante 2 años, después de ser plantados. Usa dosis de 50–100 g por árbol por aplicación. El efecto es potenciar el crecimiento en los primeros años después de plantar, acelerando el cierre de copas y sombreando las malezas herbáceas y ‘recapturar’ el sitio. Esparcir el fertilizante en forma de aro alrededor de la base del árbol, es más efectivo que verterlo en el hueco de plantación, porque los nutrientes se filtran hacia abajo a través del suelo, al tiempo que las raíces empiezan a crecer y penetrar el suelo circundante.

En sitios de tierras bajas con suelos pobres lateríticos, un fertilizante orgánico parece ser más efectivo que uno químico (FORRU-CMU, datos inéditos), posiblemente porque se descompone y se lava más lentamente del suelo. De modo que proporciona nutrientes a las raíces del árbol, de manera más equitativa durante un período más largo.



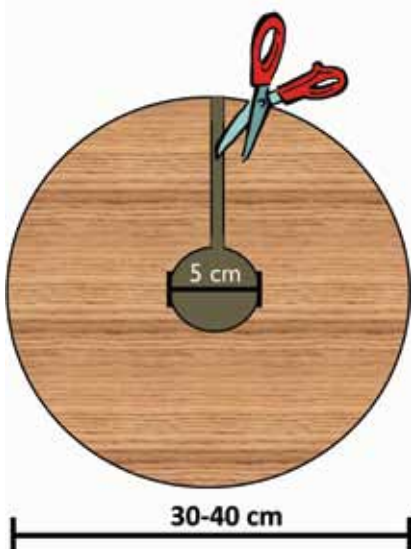
El costo de fertilizante químico fluctúa con el precio del petróleo, y así los costos han subido abruptamente en los últimos años y muy probablemente sigan subiendo. Los fertilizantes orgánicos varían mucho en su composición, pero son mucho más baratos que los fertilizantes químicos. Encuentra un fabricante fiable de una marca local eficaz y quédate con ella, o trabaja con comunidades locales para empezar a producir fertilizante de estiércol de animales. La compra de fertilizantes de pobladores locales, provee otra manera en la que la comunidad pueda beneficiarse económicamente a partir de un proyecto de restauración.

El mulch reduce la desecación y el crecimiento de malezas

El mulch es un material que se coloca en el suelo alrededor del árbol, que puede incrementar su supervivencia y crecimiento, particularmente al reducir el riesgo de desecación inmediatamente después de ser plantado. El mulch es particularmente recomendado, cuando se está plantando en suelos altamente degradados en zonas secas. Tiene menos efecto, cuando se usa en parcelas que tienen suelos fértiles de tierras altas o en los trópicos siempre-húmedos. Los materiales de mulch varían ampliamente desde piedras y guijarros, hasta astillas de madera, paja, aserrín, fibra de coco o de palma de aceite y cartón.



El cartón corrugado es excelente para hacer alfombrillas de mulch. Está ampliamente disponible y es relativamente barato. Pide a tu supermercado local que done sus cartones y otros materiales de embalaje para hacer alfombrillas de mulch. Corta el cartón en círculos de 40–50 cm de diámetro. Corta un hueco en el medio del círculo, de aproximadamente 5 cm de ancho y haz un corte estrecho del perímetro del círculo, hasta su centro. Abre el círculo por este corte y acomódalo alrededor del tronco del árbol. Asegúrate de que el cartón no toque el tronco, ya que podría frotarse, creando heridas que podrían infectarse con hongos. Clava una estaca de bambú a través de la alfombrilla para fijarla en su lugar. En bosques estacionalmente tropicales, los mulch de cartón duran una estación de lluvia, y gradualmente se van pudriendo y añadiendo materia orgánica al suelo. Reemplazar las alfombrillas al comienzo de la segunda estación de lluvia, no parece tener beneficios adicionales (datos de FORRU-CMU).



La mayoría de las semillas de malezas son estimuladas a germinar con luz. Colocar mulch alrededor de los árboles plantados, deja fuera la luz y así previene que las malezas re-colonicen el suelo, en la vecindad inmediata del árbol plantado. Además, el mulch enfría el suelo, y de esta manera, reduce la evaporación de la humedad del suelo. Los invertebrados del suelo son atraídos por las condiciones frescas y húmedas debajo del mulch. Ellos revuelven el suelo alrededor de los árboles plantados, mejorando el drenaje y la aireación.

Alfombrillas de mulch, cortadas de cartón corrugado reciclado, son baratas y efectivas en reducir la mortandad inmediata post-plantación de los árboles plantados, particularmente en sitios propicios a las sequías y con suelos degradados. Suprimen el crecimiento de las malezas y por ello reducen los costos de mano de obra para desmalezar. El fertilizante se aplica en forma de círculo alrededor de la base del árbol. Las alfombrillas de cartón duran más o menos un año si se es cuidadoso de no perturbarlas durante los trabajos de desmalezamiento.

Se puede usar gel de polímero para mejorar la hidratación

El gel de polímero absorbente de agua, puede ayudar a que las raíces de los árboles plantados se mantengan hidratadas y reducir el estrés de trasplante. En sitios de tierras altas regados por manantiales, no es normalmente necesario, pero cuando es usado en combinación con las alfombrillas de mulch de cartón, puede reducir significativamente la mortandad de los árboles, inmediatamente después de la plantación en áreas secas con suelos pobres (ver **Sección 5.5**).

Control de calidad

Incluso cuando se enseñan las técnicas de plantación al comienzo del evento, es inevitable que algunos árboles no sean plantados apropiadamente. Una vez que los plantadores han dejado el sitio, los jefes de equipo deben inspeccionar los árboles plantados y corregir los errores. Asegúrate de que todos los árboles estén erguidos, que el suelo alrededor de ellos haya sido apretado firmemente, y que las etiquetas del monitoreo no estén enterradas. Busca los árboles que no hayan sido plantados, y plántalos o devuélvelos al vivero. Rellena los huecos que no contengan ningún árbol. Limpia el sitio de estacas de bambú sobrantes, sacos de fertilizante, bolsas de plástico y cualquier otra basura.

Siembra directa

La siembra directa puede reducir dramáticamente los costos de la plantación de un bosque. También es bastante más fácil de realizar, que el laborioso proceso de plantar árboles en contenedores, pero pocas especies de árboles pueden actualmente establecerse eficazmente por esta técnica (**Tabla 5.2**). Actualmente, el método sigue siendo complementario a la plantación convencional de árboles. Los pros y los contras fueron discutidos en **Sección 5.3**, pero las técnicas prácticas se presentan a continuación.

La sincronización óptima para la siembra directa

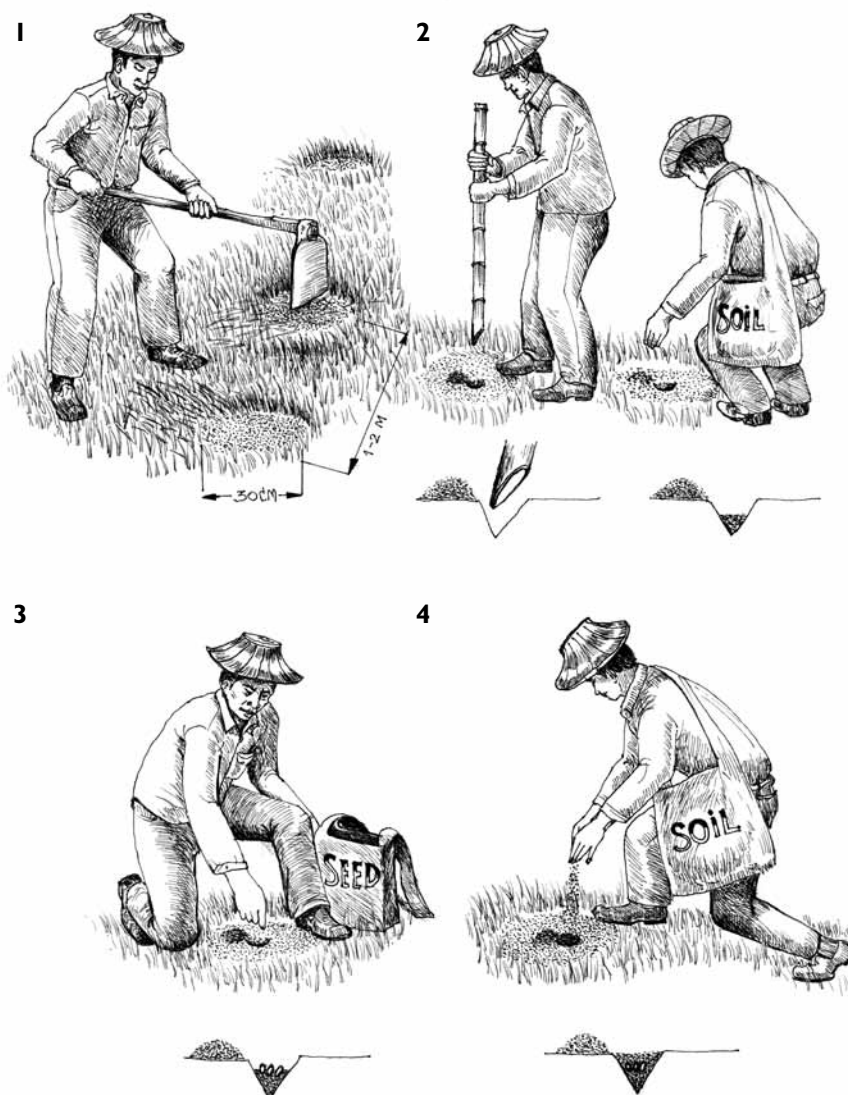
En regiones tropicales siempre-húmedas, la siembra directa puede implementarse en cualquier momento (excepto durante las condiciones de sequía). En áreas estacionalmente secas, la siembra directa debe realizarse al comienzo de la estación de lluvia (junto con la plantación convencional). Esto permite el tiempo suficiente, para que las plántulas que germinen puedan desarrollar un sistema de raíces, que tenga acceso a suficiente humedad del suelo, para permitir que los árboles sobrevivan la primera estación seca después de la siembra. Desafortunadamente, la estación de lluvia es también el momento cumbre del año, tanto para el crecimiento de las malezas, como para la reproducción de los roedores depredadores de semillas, de modo que el control de estos dos factores es particularmente importante. Se ha sugerido que estos problemas se evitarían al sembrar ya avanzada la estación de lluvia, pero investigaciones recientes han demostrado que la siembra temprana, para lograr un desarrollo extenso de las raíces antes de la estación seca, es la consideración de más peso (Tunjai, 2011).

Asegurar la disponibilidad de semillas

Las semillas deben almacenarse desde el momento de la fructificación, hasta el comienzo de la estación de lluvia. Muchas especies tropicales producen semillas recalcitrantes, que pierden su viabilidad rápidamente durante el almacenamiento, pero el período de almacenamiento requerido para la siembra directa, es menos de 9 meses y así el almacenamiento puede ser posible. Ver **Secciones 6.2 y 6.6** para más información sobre el almacenamiento de semillas.

Técnicas de siembra directa

Al comienzo de la estación de lluvia, recolecta semillas de las especies de árboles deseados (o remuévelos del almacenamiento). Aplica uno de los tratamientos pregerminativos conocidos, para acelerar la germinación de la especie relevante. Desentierra las malezas de los 'puntos de siembra' en un ancho de más o menos 30 cm, con espaciamentos de aproximadamente 1.5–2 m el uno del otro (o la misma distancia de regeneración natural presente). Cava un pequeño hueco en el suelo y llénalo con suelo de bosque. Esto asegura que los benéficos micro-organismos simbióticos (por ejemplo, los hongos micorriza) estén presentes cuando la semilla germine. Coloca varias semillas dentro de cada hueco y con un dedo presiónalas a una profundidad de, aproximadamente, el doble del diámetro de la semilla y cúbrelos con más suelo de bosque. Coloca materiales de mulch, como malezas muertas, alrededor de los puntos de siembra para evitar el crecimiento futuro de malezas. Durante las primeras dos estaciones de lluvia después de la siembra, desmaleza a mano alrededor de los puntos de siembra como fuese requerido. Si múltiples plántulas crecen en alguno de los puntos de siembra, remueve las más pequeñas y débiles, para que no compitan con las plántulas más grandes. Realiza experimentos para determinar las especies y técnicas más exitosas para la siembra directa, en cualquier sitio particular.



1. Primero, despeja los puntos de siembra de las malezas.
2. A continuación, cava pequeños huecos y añade suelo de bosque.
3. Luego, aprieta varias semillas dentro del suelo suelto.
4. Finalmente, cubre con más suelo de bosque.

7.3 Cuidar los árboles plantados

En sitios deforestados, los árboles plantados están sujetos a condiciones calientes, secas, soleadas, así como a la competencia con las malezas de crecimiento rápido. Las medidas de protección (como se describen en **Sección 5.1**) deben implementarse para prevenir incendios e ingreso de ganado que pueda matar tanto a los árboles plantados, como a la regeneración natural presente. Desmalezar y aplicar fertilizante (ver **Sección 5.2**) también son esenciales durante, al menos, 18–24 meses después de la plantación, para maximizar el crecimiento de los árboles y acelerar el cierre de copas. No será necesario ningún mantenimiento futuro después del cierre de copas.

Prevención de incendios y exclusión de ganado

Cortar cortafuegos, organizar equipos de supresión de incendios y exclusión de ganado de un sitio de restauración, se discute en la **Sección 5.1**.

Desmalezar

Desmalezar reduce la competencia entre los árboles plantados o naturalmente establecidos, y las malezas herbáceas. En casi todos los sitios tropicales, es necesario desmalezar para prevenir la alta mortandad en los primeros dos años después de plantar. Los métodos de desmalezar en forma circular y aplastar la maleza, descritos en la **Sección 5.2**, se pueden aplicar igualmente en los árboles plantados, o sobre la regeneración natural.

La frecuencia de desmalezar

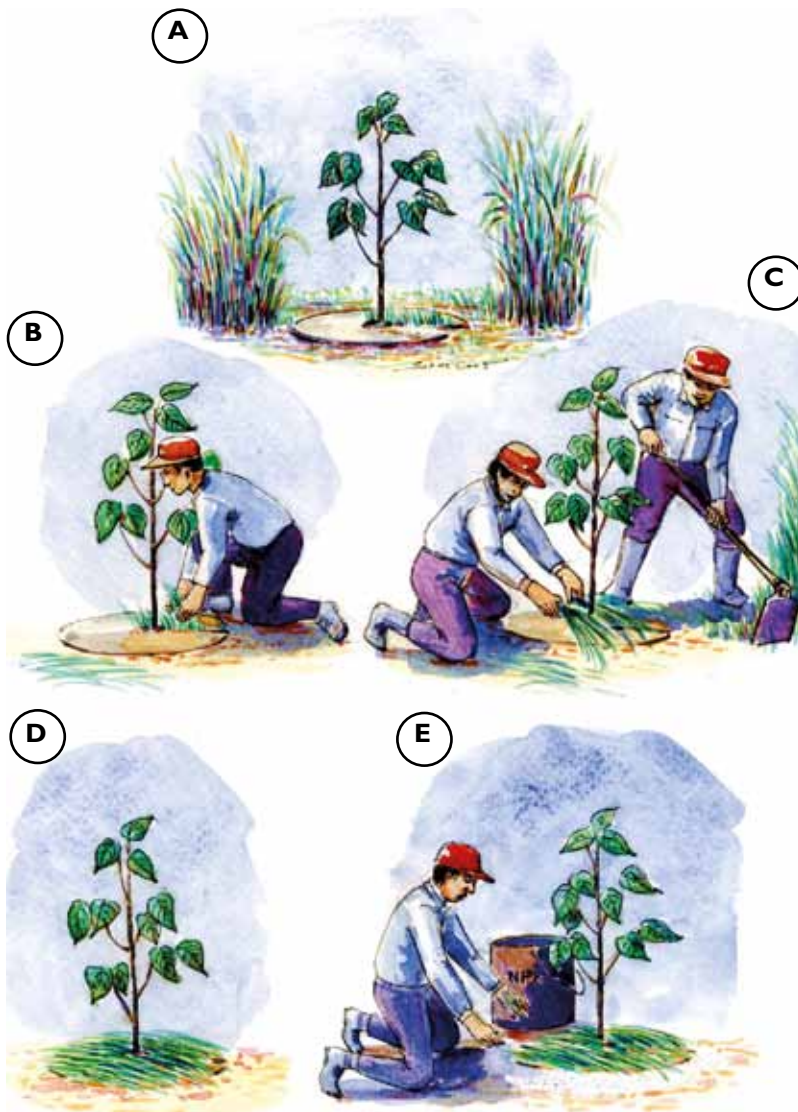
La frecuencia de desmalezar depende de la rapidez con la que crezcan las malezas. Visita frecuentemente el sitio y observa el crecimiento, y desmaleza bastante antes de que las malezas crezcan por encima de las copas de los árboles plantados. El crecimiento de las malezas es más rápido durante la estación de lluvia. Después de plantar, desmaleza alrededor de los árboles plantados a intervalos de 4–6 semanas, mientras dure la estación de lluvia. Si el crecimiento de la maleza es lento, es posible reducir la frecuencia de desmalezar. No debería ser necesario desmalezar durante la estación seca.

En bosques estacionales, permite que antes del fin de la estación de lluvia, crezca la maleza un poco para darles sombra y así prevenir la desecación, cuando el clima sea seco y caliente. No obstante, recuerda que esto también incrementa el riesgo de incendios, de modo que haz esto sólo donde las medidas contra incendios sean eficaces. Allí donde los incendios sean particularmente probables, trata de mantener las parcelas plantadas limpias de maleza todo el tiempo. La mano de obra para desmalezar varía con la densidad de la maleza, pero como guía, presupuesta 18–24 días de trabajo por hectárea.

¿Durante cuánto tiempo hay que continuar desmalezando?

Normalmente, es necesario desmalezar durante dos estaciones de lluvia después de plantar. En el tercer año después de plantar, se puede reducir la frecuencia de desmalezar, si las copas de los árboles plantados empiezan a encontrarse y a formar un dosel de bosque. En el cuarto año, la sombra del dosel del bosque debe ser suficientemente densa como para prevenir el crecimiento de las malezas.

Desmalezar es esencial para mantener los árboles vivos durante los primeros años después de plantar: (A) Una alfombra de mulch de cartón, puede ayudar a mantener la maleza inmediatamente alrededor del tronco. (B) Saca a mano la maleza que crece cerca de la base de los árboles (lleva guantes) para evitar dañar a las raíces de los árboles. Trata de mantener intacta la alfombra de mulch. (C) A continuación, usa un azadón para desarraigar las malezas en un círculo alrededor de la alfombra de mulch y (D) coloca las malezas desarraigadas encima del mulch de cartón. (E) Finalmente, aplica fertilizante (50–100 g) en un círculo alrededor de la alfombra de mulch.



Técnicas de desmalezar

El método de aplastar la maleza descrito en la **Sección 5.2**, se puede usar para aplanar la maleza que crece entre los árboles. Si las malezas no son susceptibles al aplastamiento, usa entonces machetes o un desbrozador de malezas (un cortador de malezas mecánico de mano), manteniéndote suficientemente lejos, tanto de los árboles plantados como de los naturales para evitar cortarlos por accidente.

Un acercamiento más delicado se requiere alrededor de los árboles mismos. Ponte guantes y arranca con cuidado las malezas que crecen cerca de los troncos de los árboles, incluyendo las que crecen a través del mulch. Trata de no perturbar mucho el mulch. Usa un azadón para desenterrar las malezas cerca del área con el mulch en sus raíces. Coloca las malezas desarraigadas alrededor del árbol, encima del mulch existente. Esto le da sombra a la superficie del suelo e inhibe la germinación de las semillas de malezas, incluso cuando el mulch orgánico se va descomponiendo. Trata de que las raíces de las malezas desenterradas, no toquen el tronco del árbol, ya que esto podría fomentar una infección de hongos. Aplica fertilizante alrededor de cada árbol inmediatamente después de desmalezar.

Frecuencia de aplicación de fertilizante

Incluso en suelos fértiles, la mayoría de especies de árboles se benefician de la aplicación de fertilizante, durante los primeros dos años después de plantar. Les permite crecer rápidamente por encima de las malezas y sombrearlas, reduciendo así los costos de mano de obra. Aplica 50–100 g de fertilizante, a intervalos de 4–6 semanas, inmediatamente después de desmalezar, en un círculo aproximadamente 20 cm distante del tronco del árbol. Si se ha colocado una alfombrilla de mulch de cartón, aplica el fertilizante alrededor del borde de ésta. Se recomienda un fertilizante químico (N:P:K 15:15:15) para sitios en tierras altas, mientras que los gránulos producen resultados significativamente mejores en suelos lateríticos en tierras bajas (ver **Sección 7.2**). Desmalezar antes de aplicar fertilizante, asegura que serán los árboles plantados los que se benefician de los nutrientes y no las malezas.

7.4 El seguimiento del progreso

Todos los proyectos de plantación de árboles deben ser monitoreados, pero hay muchos enfoques diferentes para monitorear, que van desde un foto-monitoreo básico y evaluación de tasas de supervivencia de los árboles (descrito aquí), hasta sistemas complejos de pruebas de campo, diseñados para investigar el desempeño de las especies, los efectos de los tratamientos de silvicultura y la recuperación de la biodiversidad (descrito en la **Sección 7.5**).

¿Por qué es necesario el seguimiento?

Los financiadores quieren saber si la plantación de árboles por la que han pagado es exitosa, de modo que los resultados del monitoreo son normalmente, componentes esenciales en los informes del proyecto. Inicialmente, esto significa averiguar si los árboles plantados han sobrevivido y crecido bien, en los primeros años después de haber sido plantados, pero la medida última del éxito es lo rápido que el bosque restaurado, vuelve a parecerse al ecosistema del bosque-objetivo, en términos de estructura y función (ver **Sección 1.2**), y composición de especies (ver **Sección 7.5**). El interés en técnicas de monitoreo está creciendo rápidamente, y los sistemas de monitoreo que se proponen se están volviendo cada vez más complejos y rigurosos. Esto se debe al valor que se le está dando ahora a los bosques, como almacenes de carbono. Pequeños errores de monitoreo, pueden resultar en la ganancia o pérdida de grandes sumas de dinero en el mercado del carbono. Por ello, si tu proyecto está financiado por un esquema de compensación de carbono (por ejemplo, REDD+), asegúrate de que estés siguiendo los protocolos de monitoreo estipulados por el fundador y estate preparado para tener examinado con precisión cada aspecto de tu programa de monitoreo.

El seguimiento simple usando la fotografía

La manera más simple de evaluar los efectos de la plantación de árboles, es tomar fotos antes de plantar y después, a intervalos regulares (una vez por estación o año). Un sitio vecino donde no se haya implementado ninguna restauración, puede ser fotografiado similarmente, de modo que se pueda comparar la restauración con la regeneración no asistida. Localiza los puntos con vista clara en los sitios plantados, así como los puntos notables en el paisaje. Marca las posiciones de los puntos con un poste de metal o concreto, o pinta una flecha en una roca grande. Ajusta la cámara a la resolución más alta y el ángulo más amplio, y trata de usar la misma cámara para todas las tomas. Encuadra cada toma de manera que se vea un punto marcado, o bien al margen de la derecha o al de la izquierda de la imagen, y de manera que el horizonte esté alineado cerca del borde superior (es decir, minimiza la cantidad de cielo en la imagen). Registra la fecha, el número del punto, localidad (coordenadas si tienes

un GPS), y edad de la parcela y usa un compás para medir la dirección en la que apunta la cámara. Las fotos en la **Sección 1.3** son buenos ejemplos. En estas imágenes, el gran tocón negro sirve como punto de referencia.

Apenas puedas, baja las fotos a una computadora y haz una copia de seguridad en un dispositivo de almacenamiento, o en internet. Usa un sistema para nombrar los archivos, de modo que las fotos se puedan disponer fácilmente en orden cronológico y por ubicación de los puntos (por ejemplo, 2013_Punto1_Parcela141231). Cuando vuelvas a tomar más fotos, lleva las previas, de modo que puedas usar los relieves del terreno para ubicar las nuevas tomas, para que sean lo más similares posibles a las anteriores.

Las fotos son fáciles de tomar y compartir, y proveen una representación de fácil comprensión, del progreso de los proyectos de restauración. No obstante, los patrocinadores normalmente requieren algún tipo de monitoreo de la supervivencia y crecimiento de los árboles. En ese caso provee con etiquetas un subconjunto de los árboles plantados y mídelos a intervalos regulares.

Muestreo de árboles para el seguimiento

El requerimiento mínimo para un monitoreo adecuado, es una muestra de 50 o más individuos de cada especie plantada. Cuanto mayor sea la muestra, tanto mejor. Selecciona árboles al azar para incluirlos en la muestra; ponles etiquetas en el vivero antes de transportarlos al sitio de plantación. Plántalos aleatoriamente a través del sitio, pero asegúrate de que los puedas encontrar de nuevo. Coloca un palo de bambú pintado con color, al lado de cada árbol que ha de ser monitoreado; copia el número de identificación de la etiqueta del árbol en el palo del bambú, con un lapicero indeleble y dibuja un croquis que te ayude a encontrar los árboles de la muestra en el futuro.

Etiquetar las plántulas plantadas

Las suaves cintas de metal usadas para atar cables eléctricos, que se pueden conseguir en tiendas de suministros de construcción, son excelentes para etiquetar los pequeños árboles. Se pueden fácilmente transformar en aros alrededor de los troncos. Usa perforadores de números de metal, o un clavo puntiagudo para grabar el número de identificación en cada etiqueta y dóblala en aro alrededor del tronco del arbolito, encima de la rama más baja (si



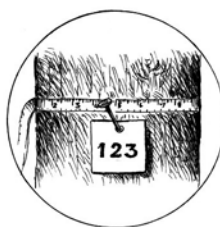
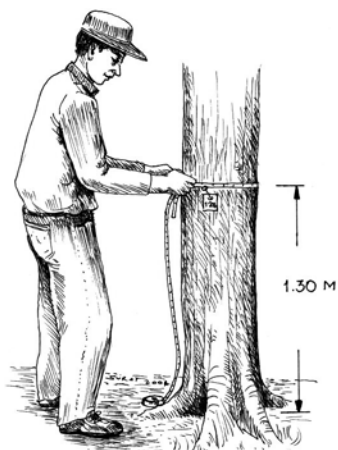
Antes de plantar, fija etiquetas en cinta de metal alrededor de los troncos de los árboles. Asegúrate de que no se entierren durante la plantación. Las etiquetas podrían incluir, además del número del árbol, información sobre la especie, año de plantación, número de parcela. Por ejemplo, 22-48 12-3 podría significar que es el individuo 48 de la especie número 22, plantado en la parcela 3 en el año 2012. Mantén registros precisos de tu sistema de enumeración.

la hubiera). Esto prevendrá que la etiqueta se entierre en el momento de la plantación del árbol. Alternativamente, se pueden cortar latas de bebidas, que también son excelentes para hacer etiquetas de árboles. Corta la parte superior e inferior de las latas y corta las paredes en franjas. Usa un bolígrafo duro o un clavo para grabar los números en las franjas del suave metal (en la superficie interior). Las franjas pueden entonces doblarse en aros sueltos alrededor de los troncos de las plántulas.

Mantener las etiquetas en posición, en árboles de crecimiento rápido es difícil, pues conforme crecen los árboles, sus troncos en expansión los van desechando. Si se lleva a cabo frecuentemente el monitoreo, puedes ir reposicionando o reemplazando las etiquetas antes de que se pierdan.



Una vez que los árboles hayan desarrollado un perímetro de 10 cm o más, a 1.3 m por encima del nivel del suelo (perímetro a la altura del pecho (PAP)), se pueden clavar etiquetas más permanentes en los troncos, marcando el punto de medida perímetro a 1.3 m. usa clavos galvanizados de 5 cm con cabezas planas. Clávalos aproximadamente un tercio en el tronco, para permitirle al tronco espacio para crecer. Las láminas de metal de las latas de bebidas, cortadas en grandes cuadrados, de modo que se pueda leer el número de identificación a distancia, son excelentes etiquetas para los árboles más grandes.



Una vez que los árboles han crecido, el monitoreo de actuación posterior se puede basar en el incremento del perímetro a la altura del pecho (PAP).

Monitoreo del desempeño de los árboles

Para monitorear el desempeño de los árboles, trabaja en parejas, uno tomando las mediciones y otro registrándolas, en las hojas de registro preparadas con antelación. Una pareja puede recoger datos de hasta 400 árboles al día. De antemano, prepara hojas de registro que incluyan una lista de los números de identificación de todos los árboles etiquetados (ver **Sección 7.5**). Lleva los croquis de las ubicaciones, hechos cuando se plantaron los árboles etiquetados, para ayudarte a encontrarlos. Adicionalmente, llévate una copia de los datos recogidos en sesiones previas de monitoreo. Esto te puede ayudar a resolver problemas de identificación de los árboles, especialmente de árboles que podrían haber perdido sus etiquetas.

Cuándo monitorear

Mide los árboles 1–2 semanas después de plantados, para proveer datos de línea de base para los cálculos de crecimiento, y para evaluar la mortandad inmediata, que puede resultar del shock de trasplante o del manejo descuidado durante el proceso de plantación. Después de eso, monitorea tres veces al año; en bosques estacionales, esta tarea debe llevarse a cabo al final de la estación de lluvia. El evento de monitoreo más importante, sin embargo, es al final de la segunda estación de lluvia después de plantar (o después de 18 meses), cuando se pueden usar los datos de desempeño en el campo, para cuantificar la idoneidad de cada especie de árbol en las condiciones prevalecientes del sitio (ver **Sección 8.5**).

¿Qué mediciones hay que hacer?

Un monitoreo rápido del desempeño de los árboles, puede consistir en conteos simples de los árboles supervivientes y muertos, pero registrar la condición de los árboles plantados cada vez que se inspeccionan, puede alertarnos a tiempo si algo está saliendo mal. Asigna una puntuación simple de salud a cada árbol y registra notas descriptivas sobre cada problema de salud observado en particular. Una simple escala de 0–3 es normalmente suficiente para registrar la salud en general. Apunta cero si la planta parece haber muerto. Para árboles de hoja caduca, no confundas el árbol sin hojas en la estación seca, con un árbol muerto. No dejes de monitorear los árboles, solo porque obtuvieron la puntuación cero en una ocasión. Los árboles que parecen muertos por encima del nivel del suelo, podrían tener aún raíces vivas, de las cuales se podrían desarrollar nuevos brotes. Dale 1 punto si el árbol está en condiciones pobres (pocas hojas, la mayoría de ellas desteñidas, daño severo de insectos, etc.). Dale 2 puntos a los árboles que muestren algún signo de daño, pero que retienen un follaje saludable. Dale 3 puntos a los árboles en perfecto, o casi perfecto, estado de salud.

Mide la altura de los árboles plantados desde el cuello de las raíces hasta el meristema (punto en crecimiento) más alto.



Un monitoreo más detallado del desempeño de los árboles, consiste en medir la altura y/o perímetro (para calcular la tasa de crecimiento) y el ancho de la copa. En el primer o segundo año después de plantar, la altura de los árboles puede ser medida con cintas de 1.5 m fijadas en varas. Mide la altura del árbol desde el cuello de las raíces (punta del brote). Para árboles más altos, de hasta 10 m, se pueden usar varas de medida telescópicas. Estas varas se pueden comprar comercialmente pero también se pueden hacer de forma casera. Las mediciones del perímetro a la altura del pecho (PAP), antes que de la altura, son más fáciles de hacer en los árboles más altos y se pueden usar para calcular las tasas de crecimiento.

Los cálculos de las tasas de crecimiento de los árboles que están basados en la altura, pueden a veces no ser fiables, ya que los brotes se pueden ocasionalmente dañar o secar, siendo entonces tasas de crecimiento negativas para plántulas pequeñas, aun cuando éstas puedan estar creciendo vigorosamente. Por consiguiente, las mediciones del diámetro del cuello de raíces (DCR) o del PAP proveen frecuentemente una evaluación más estable del crecimiento de los árboles. Para árboles pequeños, usa calibradores con una escala de Vernier, para medir el DCR en el punto más ancho (para el uso de calibradores, ver **Sección 6.6**). Una vez que un árbol ha crecido lo suficiente en altura, como para desarrollar un PAP de 10 cm, mide tanto el DCR y el PAP la primera vez y después ya solo mide el PAP.

La supresión del crecimiento de las malezas (una característica de 'framework' importante), también se puede cuantificar. Medir el ancho de las copas y usar un sistema de puntuación para la cobertura de la maleza, puede ayudar a determinar la extensión a la que una especie contribuye a la 're-captura' del sitio. Usa huinchas de distancia, para medir el ancho de las copas de los árboles en su punto más amplio. Imagina un círculo de aproximadamente 1 m de diámetro, alrededor de la base de cada árbol. Dale la puntuación 3 si la cobertura de la maleza es densa a través de todo el círculo; 2 si la cobertura de la maleza y la cobertura de la hojarasca son ambas moderadas; 1 si solo unas pocas malezas crecen en el círculo y 0 para ninguna (o casi ninguna) maleza. Haz esto antes de la fecha fijada para desmalezar.



Mide el ancho de la copa en su punto más amplio, para evaluar el cierre de copas y la 're-captura' del sitio.

Análisis de los datos

Para cada especie, calcula el porcentaje de supervivencia al final de la segunda estación de lluvia, después de plantar (o después de 24 meses) como sigue:

$$\% \text{ de supervivencia estimada} = \frac{\text{Núm. de árboles etiquetados supervivientes}}{\text{Núm. de árboles etiquetados plantados}} \times 100$$

Usa el porcentaje de supervivencia de los árboles de muestra etiquetados, para estimar cuántos árboles de cada especie han sobrevivido en todo el sitio. Luego determina el porcentaje de supervivencia del número total de árboles plantados como se muestra en el **Tabla 7.1**.

Tabla 7.1. Ejemplo de cálculo de tasas de supervivencia de las especies.

Especie	Núm. de árb. de muestra etiquetados	Núm. de árb. supervivientes etiquetados	Supervivencia % estimada (%S)	Total núm. de árb. plantados (ÁP)	Núm. de supervivientes estimados (ÁP × %S/100)
E004	50	46	92	1,089	1,002
E017	50	34	68	678	461
E056	50	45	90	345	311
E123	50	48	96	567	544
E178	50	23	46	358	165
Totales				3,037	2,482
% de supervivencia general estimado 81.7					

Para determinar las diferencias significativas de supervivencia entre las especies, usa la prueba de Chi (o "ji") cuadrado (χ^2). Escribe en una tabla los números de los árboles vivos y muertos, de las dos especies que quieras comparar así:

Especie	Vivo	Muerto	Total
E123	48	2	50
E178	23	27	50
Total	71	29	100

a	b	a+b
c	d	c+d
a+c	b+d	a+b+c+d

Calcula la estadística de Chi cuadrado (χ^2), usando la fórmula:

$$(\chi^2) = \frac{(ad-bc)^2 \times (a+b+c+d)}{(a+b) \times (c+d) \times (b+d) \times (a+c)}$$

Una diferencia significativa es indicada, al calcular el valor de un Chi cuadrado que exceda 3.841 (con <5% de probabilidad de error). Este valor crítico es independiente del número de árboles en las muestras. En el ejemplo de arriba, 30.35 excede por mucho el valor crítico, de modo que podemos confiar en que E123 va a sobrevivir de manera significativamente mejor que E178 (para más información, ir a www.math.hws.edu/javamath/ryan/ChiSquare.html). Remueve las especies con bajas tasas de supervivencia, de plantaciones futuras y retén aquellas con tasas de supervivencia más altas (ver **Sección 8.5**).

Calcula la altura media y el DCR de cada especie, y calcula las tasas de crecimiento relativo (TCR; ver **Sección 7.5**). Para mostrar diferencias significativas entre las especies, usa la prueba de estadística, ANOVA (ver **Apéndice A2.2**).

El monitoreo de otros aspectos de la restauración de bosques

Los métodos de investigación detallados, que se usan para determinar la recuperación de bosques, se describen en la **Sección 7.5**, pero si no tienes la capacidad o los recursos para implementarlos, entonces un simple monitoreo informal puede al menos proveer a las partes interesadas, con la sensación de logros necesaria para mantener el interés en el proyecto. Visita regularmente las parcelas plantadas y registra cuándo se observen las primeras flores, frutos o nidos de aves en cada una de las especies de árboles plantada. Registra cualquier avistamiento de animales (o sus señales), especialmente de dispersores de semillas. Una vez que el dosel se haya cerrado, inspecciona las parcelas por plántulas o árboles establecidos naturalmente, y registra el retorno de las especies notables. Esto ayuda a dar una impresión de lo rápido que el bosque restaurado, empieza a parecerse al bosque-objetivo, y lo rápido que sucede la recuperación de la biodiversidad.

Monitoreo de la acumulación de carbono

Muchos patrocinadores quieren saber cuánto carbono se restaura a través de los árboles, en un proyecto de restauración, de modo que pudieran compensar sus huellas de carbono, o convertirlo en dinero en efectivo en el mercado de carbono. Por consiguiente, los patrocinadores frecuentemente requieren implementadores de proyectos, que sigan los estándares internacionales de acreditación y monitoreo, que incluyen auditorías independientes para verificar la acumulación del carbono. Hay muchos estándares de carbono de bosques, que difieren en el modo en que se usan, para investigar los proyectos de silvicultura por la compensación de carbono. Los cuatro más relevantes para los proyectos de restauración de bosques están enumerados en la **Tabla 7.2**. Si tu proyecto está registrado en una de estas organizaciones, asegúrate de que estás siguiendo los protocolos de monitoreo que estipulan. La elaboración del Documento de Diseño del Proyecto (DDP), la ‘validación’ y ‘verificación’ del almacenamiento de carbono, así como el registro del crédito de carbono, puede costar en cualquier lugar entre US\$ 2,000 y US\$ 40,000. Estos cobros tan altos excluyen efectivamente, a las organizaciones pequeñas de participar en estos esquemas, excepto en el caso de que numerosas organizaciones pequeñas, junten sus proyectos en paquetes para obtener la certificación. Además, las organizaciones de comunidades, frecuentemente carecen de la experiencia necesaria, para completar la compleja solicitud y los procedimientos de verificación. Nuestro consejo a las organizaciones pequeñas, es buscar auspicio a través de mecanismos corporativos de responsabilidad social, que son independientes del financiamiento por carbono.

Tabla 7.2. Organizaciones estándar de carbono.

Organización	Organización	Página web
CarbonFix Info	Estándar simplificado, amigable para el usuario, que garantiza créditos de carbono de alta calidad. Adaptable a los creadores y financiadores del proyecto. Recomendado para proyectos de restauración.	www.carbonfix.info
Verified Carbon Standard (VCS)	Un estándar de alta calidad que garantiza que los créditos de carbono sean reales, verificados, permanentes, adicionales y únicos. Provee metodologías detalladas para cuantificar emisiones de carbono reducidas.	www.v-c-s.org
Plan Vivo	Se les permite a los proyectos desarrollar sus propias metodologías en asociación con institutos de investigación o universidades. Los objetivos incluyen un impacto positivo en comunidades rurales. La cuantificación de la acumulación de carbono carece del rigor general de otras organizaciones.	www.planvivo.org
Climate, Community & Biodiversity (CCB)	Cuantifica los co-beneficios de factores socio-económicos y de biodiversidad, pero recomienda el uso de VCS para certificar los créditos de carbono.	www.climate-standards.org

Para estimar la acumulación de carbono en un bosque que está siendo sometido a la restauración, debes saber la masa de árboles por unidad de área. Los troncos y las raíces contienen la mayor parte de carbono, encima del nivel del suelo, en un bosque; la cantidad de carbono en las hojas de los árboles y flora del suelo es casi insignificante, comparado con la que hay en los troncos y raíces.

Las mediciones simples de los perímetros de los troncos de los árboles, en un área conocida, puede dar una aproximación de la mayor parte del carbono de encima del nivel del suelo (CES), que se calcula usando ecuaciones publicadas (denominadas ecuaciones 'alométricas'), que describen la relación entre el diámetro de un árbol a la altura del pecho (y/o altura del árbol) y su masa seca, encima del nivel del suelo en kilogramos. Estas ecuaciones son preparadas por investigadores que cortaron árboles con circunferencias que difieren ampliamente, y luego los secan y pesan pieza por pieza. Se usan diferentes ecuaciones para los diferentes tipos de bosques, incluso para las diferentes especies de árboles, de modo que los desarrolladores de proyectos, deben investigar la literatura en busca de la ecuación que más se ajuste al tipo de bosque que se esté restaurando (ver Brown, 1997; Chambers *et al.*, 2001; Chave *et al.*, 2005; Ketterings *et al.*, 2001; Henry *et al.*, 2011). El uso de estas ecuaciones puede resultar algo difícil, de modo que pide a un matemático que te ayude si no las entiendes.

La alternativa, en caso de que no hubiese ecuaciones alométricas para el tipo de bosque requerido, es usar valores por defecto del tipo de bosque, basado en fuentes internacionales, domésticas o locales. Los valores por defecto internacionales están listadas en la **Tabla 7.3**.

Para hacer muestras de acumulación de carbono en el campo, usa postes de metal para marcar, al menos, 10 puntos permanentes de muestreo a través del sitio de restauración. Usa una cuerda de 5 m de largo para determinar qué árboles están a 5 m de los postes y luego mide su perímetro

a la altura del pecho (1.3 m desde el suelo). Divide el perímetro de los árboles por pi (3.142), para convertir al diámetro de los árboles. Luego, usa las ecuaciones alométricas, para estimar la masa seca sobre el suelo de cada árbol en kg de su diámetro. Convierte a un valor por hectárea de la manera siguiente:

$$\frac{\text{Suma de la masa seca sobre el suelo (kg) de todos los árboles en todas las parcelas} \times 10,000}{\text{Núm. de parcelas} \times 78.6}$$

Divide el resultado entre 1,000, para convertir a toneladas métricas (es decir, Megagramos (Mg) en unidades SI) por hectárea y compara tus resultados con los valores típicos para bosques tropicales (**Tabla 7.3**), para ver lo cerca que está tu bosque restaurado de los valores del típico bosque-objetivo.

Tabla 7.3. Figuras típicas de biomasa sobre el suelo para diferentes tipos de bosques tropicales. Bosques tropicales más secos, típicamente contienen menos biomasa que los más húmedos (IPCC, 2006; Tabla 4.7).

Tipo de bosque	Continente	Biomasa sobre el suelo (toneladas de masa seca por hectárea)
Bosque tropical húmedo	África, América del S. & N., Asia (continental), Asia (insular)	310 (130–510) 300 (120–400) 280 (120–680) 350 (280–520)
Bosque tropical caducifolio húmedo [=Bosque tropical estacional]	África, América del S. & N., Asia (continental), Asia (insular)	260 (160–430) 220 (210–280) 180 (10–560) 290
Bosque tropical seco	África, América del S. & N., Asia (continental), Asia (insular)	120 (120–130) 210 (200–410) 130 (100–160) 160

Para calcular la masa de las raíces de los árboles, multiplica la biomasa sobre el suelo por 0.37 para bosques tropicales siempreverdes, o por 0.56 para bosques más secos (Tabla 4.4 en IPCC, 2006), o consulta Cairns *et al.* (1997) para las tasas de otros tipos de bosques. Cuando estos resultados son añadidos a la biomasa sobre el suelo, obtienes una estimación de las toneladas de masa seca de los árboles por hectárea.

El contenido de carbono de la madera tropical seca, varía considerablemente entre las especies, pero el valor promedio es alrededor de 47% (Tabla 4.3 in IPCC, 2006; Martin y Thomas, 2011). Por ello, multiplica el resultado por 0.47 para obtener una estimación de la masa de carbono en los árboles, por hectárea.

Para averiguar cuánto vale el carbono, convierte las toneladas de carbono en un valor equivalente de toneladas de dióxido de carbono, multiplicándolos por 3.67, luego busca el valor de una tonelada de dióxido de carbono equivalente en el mercado de créditos de carbono en: www.tgo.ot.th/english/index.php?option=com_content&view=category&id=35&Itemid=38. También lee el manual del Centro Mundial Agroforestal, disponible gratis aquí: www.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/manual/MN0050-11/MN0050-11-1.PDF.

7.5 Investigación para mejorar el rendimiento de los árboles

Si tienes suficientes recursos, podrías considerar convertir tu proyecto de restauración de bosque, en un programa de investigación, en el que recolectas más información de la que normalmente viene de los procedimientos del monitoreo básico descrito arriba. Esto requiere recoger datos de una manera sistemática, en varias parcelas 'replicadas' — un así denominado 'sistema de parcelas de prueba de campo' o SPPC. Un SPPC se puede usar para comparar el rendimiento de las especies de árboles plantadas, para evaluar los efectos de los tratamientos de silvicultura, para evaluar la recuperación de la biodiversidad y la acumulación de carbono, y para determinar el diseño y el manejo óptimo de las parcelas de restauración. También puede convertirse en una herramienta valiosa de demostración, que se puede usar para enseñar a otros, las técnicas efectivas de la restauración y cómo evitar repetir errores costosos.

¿Qué es un SPPC?

Un SPPC es un conjunto de pequeñas parcelas (típicamente $50 \times 50 \text{ m} = 0.25 \text{ ha}$), cada una plantada con una mezcla diferente de especies de árboles y/o tratamientos diferentes de silvicultura, usando el sistema de bloque completo al azar, descrito en el **Capítulo 6** (pág. 198) y en el **Apéndice A2.1**. Cada temporada de plantación, se añaden nuevas parcelas al sistema. En las nuevas parcelas, las especies de árboles y los tratamientos que han funcionado mejor se retienen, usando el procedimiento de selección descrito en la **Sección 8.5**, mientras que las especies con un rendimiento pobre y los tratamientos que no tuvieron éxito, se abandonan para hacer espacio para nuevas especies y tratamientos a probar. Si el trabajo va bien, las parcelas más recientes superan a las más antiguas, porque el SPPC se va gradualmente mejorando en respuesta a los datos ingresados. Por ello, selecciona un área para un SPPC que tenga suficiente tierra sin usar, para una futura expansión. Un área ideal para plantar a lo largo de un período de 10 años, debería tener por lo menos 20 ha.

Usando el espaciamiento recomendado de 1.8 m entre los árboles, y un tamaño estándar de parcela de $50 \times 50 \text{ m}$, requiere aproximadamente 780 árboles por parcela. Con un tamaño de muestra mínimo aceptable de 20 individuos por especie, esto permite que se prueben un máximo de 39 especies cada año.

Objetivos de un SPPC

Un SPPC tiene tres objetivos principales: i) generar datos científicos, que se usan para desarrollar las 'mejores prácticas de campo' para una restauración de bosque eficaz; ii) probar la viabilidad de estas mejores prácticas; y iii) proveer un sitio de demostración para la enseñanza y el entrenamiento en los métodos de restauración.

Las preguntas científicas que son abordadas por un SPPC pueden incluir:

- ¿Qué especies de árboles probadas cumplen con los criterios requeridos?
- ¿Cuál es la densidad óptima de plantación?
- ¿Qué tratamientos de silvicultura (por ejemplo, desmalezar, aplicación de fertilizante, uso de mulch etc.) maximizan el rendimiento de los árboles plantados? ¿Con qué frecuencia y por cuánto tiempo se deben aplicar estos tratamientos?
- ¿Cómo se puede optimizar el diseño de una plantación (por ejemplo, cuántas especies por parcela)?
- ¿Qué especies pueden o no, crecer juntas?
- ¿Con qué rapidez se recupera la biodiversidad? ¿Cómo afecta la distancia al bosque más cercano, la recuperación de la biodiversidad?



Un SPPC es también una valiosa herramienta de enseñanza y entrenamiento.

La investigación en un SPPC, debe abordar las preguntas más simples (relacionadas con el rendimiento de las especies y los tratamientos de silvicultura) primero, y explorar cuestiones más complejas (tales como la mezcla de especies, las distancias a los bosques naturales etc.) después. Ya que todos los árboles en las parcelas son de edad y especie conocidas y la mayoría están etiquetados, el SPPC inevitablemente se convierte en un recurso de investigación muy buscado por otros científicos y estudiantes de investigación.

¿Dónde se debe establecer el SPPC?

En realidad, la posición del SPPC se puede determinar a través de cuestiones básicas de propiedad de la tierra y proximidad a la organización hospedera de la Unidad de Investigación de Restauración de Bosques (FORRU, por sus siglas en inglés), pero donde fuera posible, trata de tener en cuenta las consideraciones científicas y prácticas de abajo.

Consideraciones científicas

Uniformidad — los experimentos de parcela, son notoriamente vulnerables a la variabilidad de las condiciones del sitio. Podría ser difícil separar, los efectos de los tratamientos aplicados en las diferentes parcelas, de los efectos de las diferencias en las condiciones medio ambientales entre las parcelas. Hasta cierto punto, este problema se puede compensar usando un diseño experimental de bloque completo al azar, pero ayuda si el SPPC es establecido en terrenos bastante uniformes en términos de elevación, ladera, aspecto, lecho de roca, tipo de suelo etc.

Vegetación — ajusta las técnicas de restauración probadas en un SPPC, con la fase de degradación inicial del sitio (ver **Sección 3.1**).

Valor de conservación — los SPPCs son particularmente valiosos, cuando se ubican dentro de un área protegida o en una zona de amortiguamiento, o donde la conservación de la biodiversidad sea la prioridad máxima de la gestión. Usar un SPPC, para crear corredores que enlacen fragmentos de bosque restante, le da un valor de conservación añadido.

Consideraciones prácticas

La accesibilidad y la topografía — un acceso razonablemente conveniente, por lo menos con vehículos 4x4 es esencial, no solamente para plantar, mantener y monitorear los árboles, sino también para facilitar visitas a las parcelas con propósitos educacionales. Selecciona un área a 1–2 horas de viaje del vivero de la FORRU, o del cuartel general. Obviamente, los sitios más llanos son más fáciles de trabajar que los empinados.

La proximidad a una comunidad local, que apoye la idea de la restauración de bosque — esto permite el intercambio de conocimiento científico y el conocimiento indígena local, y el acceso a la experiencia de los aspectos sociales de la silvicultura ‘framework’. Una comunidad local, puede proveer una fuente de mano de obra y seguridad para las parcelas de prueba de especies ‘framework’ (ver **Sección 8.2**). La importancia de incluir a todas las partes interesadas en la discusión sobre el establecimiento del FTPS, se ha expuesto en el **Capítulo 4**. Tierra abandonada que alguna vez fue agrícola, donde se ha vuelto demasiado difícil o poco económico cultivar, debido a las condiciones medio ambientales deterioradas, es ideal.

Tenencia de tierra — si la organización de la FORRU hospedera no es dueña de la tierra, debe establecer un acuerdo con la autoridad que controla el uso de la tierra en ese área. Ésta será muy probablemente, el departamento gubernamental encargado de los recursos o conservación forestales, o posiblemente una comunidad local.

Establecer las parcelas

Un SPPC consiste en varias parcelas de tratamiento (T) y dos tipos de parcelas de control: parcelas de ‘control de tratamiento’ (CT) y parcelas de ‘control no-plantado’ (CNP). Primero, decide en un conjunto de procedimientos a seguir para establecer las parcelas de CT. El protocolo estándar debe basarse en las prácticas actuales mejor conocidas para producir árboles en el área, que pueden derivarse de la experiencia, conocimiento indígena y considerando las condiciones locales. El protocolo estándar se puede mejorar año tras año, incorporando los tratamientos que han sido más exitosos, en los análisis de los experimentos de campo de cada año. Cada año los efectos de los tratamientos nuevos, aplicados en las parcelas de T, se comparan con las parcelas de CT.

Empieza con el siguiente protocolo y modifícalo para ajustarlo a las condiciones locales:

- Seis a ocho semanas antes de plantar, mide las parcelas; demarca las esquinas con postes de concreto o similar y haz un mapa de las parcelas, claramente indicando los números de identificación de las parcelas y qué parcelas han de recibir qué tratamientos.
- Entonces, corta las malezas a la altura del suelo (excepto en las parcelas de control no-plantado), pero evita cortar cualquier plántula o árbol joven naturalmente establecido, así como los rebrotes de tocón), márcalos de antemano con postes o banderillas de colores).
- Un mes antes de plantar, aplica un herbicida no-residual (por ejemplo, glifosato) para matar la maleza que ha brotado.
- Provee los árboles con etiquetas y plántalos en el tiempo apropiado.
- Planta el número apropiado de especies de árboles candidatos (en lo posible, números iguales de todas las especies, al menos 20 árboles de cada especie por parcela) espaciados, en promedio 1.8 m aparte. Mezcla al azar las especies a través de cada parcela.
- Si fuera necesario, aplica 50–100 g de fertilizante NPK 15:15:15 en un círculo aprox. 20 cm distante de los troncos de los árboles en el momento de plantar.
- Durante la primera estación de lluvia (o los primeros 6 meses después de plantar en un bosque húmedo) repite el tratamiento de fertilizante, y desmaleza alrededor de los árboles (usando herramientas de mano) al menos tres veces, a intervalos de 6–8 semanas (ajusta la frecuencia de acuerdo a la lluvia y la tasa de crecimiento de la maleza).

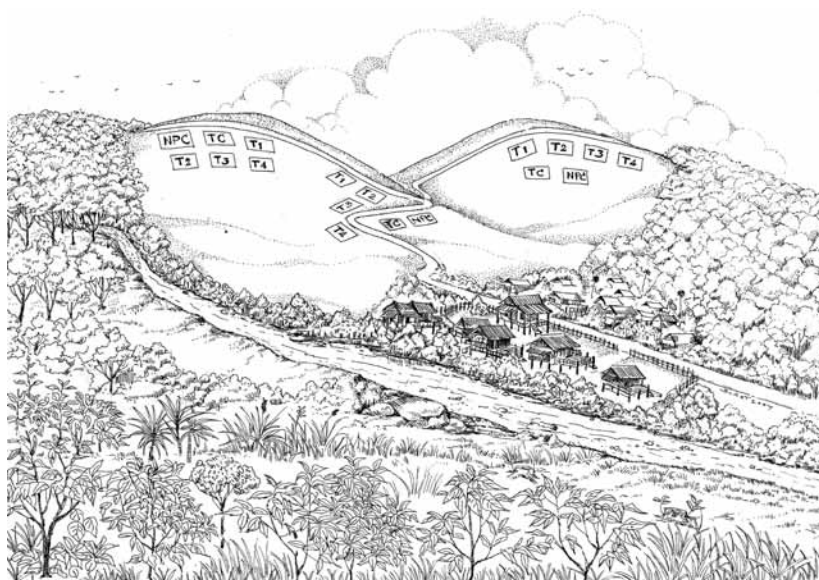
- Al comienzo de la primera estación seca, después de plantar (en bosques tropicales estacionalmente secos), corta cortafuegos alrededor de las parcelas, e implementa la prevención de incendios y el programa de supresión de fuego.
- Repite el desmalezado y la aplicación de fertilizante durante la segunda estación de lluvia, después de plantar.
- Al comienzo de la tercera estación de lluvia, evalúa la necesidad de futuras operaciones de mantenimiento.

Inmediatamente adjuntos a las parcelas de CT, establece las parcelas de tratamiento (T1, T2, T3, etc.), simultáneamente y de la misma manera exactamente, pero variando solo un componente del protocolo (por ejemplo, las técnicas de fertilizante o desmalezado etc.). El rendimiento de los árboles en las parcelas T es entonces comparado con el de las parcelas CT.

Diseño experimental

Se recomienda un diseño de bloque completo al azar (DCBA). Junta en un bloque, las réplicas sueltas de cada tipo de parcela de T con una de CT y replica los bloques, en al menos tres localidades a través del sitio (4–6 localidades sería mejor). Posiciona los bloques a, por lo menos, unos cuantos cientos de metros aparte si fuera posible, para tener en cuenta la variabilidad de las condiciones (ladera, aspecto etc.) a través del área de estudio. Al azar, asigna los tratamientos a cada parcela de T dentro de cada bloque. Planta 'líneas de árboles guardia' alrededor de cada parcela y bloque, para prevenir que un tratamiento influya a otro y reducir los efectos de borde.

A continuación añade parcelas de 'control no-plantado', en las que no se planta ningún árbol, no se aplica ningún tratamiento y la vegetación es dejada sin perturbar, para someterse a la sucesión natural. La función de las parcelas CNP es generar datos de línea de base, sobre la tasa natural de recuperación de la biodiversidad, en ausencia de plantaciones y tratamientos de restauración de bosque. Se compara entonces, la recuperación de la biodiversidad en las parcelas de restauración, con lo que hubiera pasado naturalmente, si nunca se hubiera implementado la restauración de bosque. Asocia una parcela de CNP con cada bloque de parcelas de CT y T. Si las parcelas de CNP son adyacentes a las parcelas plantadas, las aves que son atraídas por los árboles plantados, pasarán a las parcelas de CNP. De modo que las parcelas de VNP deben establecerse, al menos a 100 m de las parcelas plantadas.



Un diseño de bloque al azar, con bloques de árboles diseminados a través del área de estudio. Los bloques se posicionan al menos a unos cuantos cientos de metros de distancia aparte y no lejos de bosques restantes. T = parcelas de tratamiento; TC = parcelas de control ('treatment control' en inglés) y NPC = parcelas de control no-plantado ('non-planted control' en inglés).

Elección de tratamientos

Considera los factores principales que limitan la supervivencia y el crecimiento de los árboles en el sitio de estudio, y diseña los tratamientos para superarlos. Por ejemplo, si los nutrientes del suelo están limitados, trata variando el tipo de fertilizante, la cantidad aplicada cada vez y/o la frecuencia de las aplicaciones. Alternativamente, experimenta añadiendo compost al hueco de plantación. Si la competencia con la maleza es el factor limitante más obvio, trata variando técnicas de desmalezado (por ejemplo, herramientas de mano o herbicida) o la frecuencia del desmalezado, o prueba usando un mulch denso (por ejemplo de maleza cortada o cartón corrugado) para suprimir la germinación de las semillas de malezas, en la vecindad inmediata de los árboles plantados. Otros tratamientos a probar, incluyen la colocación de gel de polímero o inoculaciones de micorriza, en los huecos de plantación, o someter los árboles a varios tratamientos de poda, antes de plantar.

Escribe un plan de experimento de campo

Prepara un documento de trabajo que contenga la siguiente información:

- un croquis del sistema de parcela, indicando los números de identificación de las parcelas y cuáles están recibiendo tratamientos;
- una lista de las especies plantadas en las parcelas y los números de etiquetas de cada árbol plantado en las parcelas;
- una descripción del protocolo de plantación estándar;
- una descripción de los tratamientos aplicados en cada parcela y un cronograma para su aplicación;
- un cronograma para la recolección de datos.



La aplicación consistente de tratamientos de silvicultura, es uno de los componentes más importantes y costosos de los experimentos de campo.

Asegúrate de que cada miembro de la FORRU reciba una copia del documento, y comprenda su papel en establecer, mantener y monitorear las parcelas, y que han sido adecuadamente entrenados en cómo aplicar el tratamiento especificado. Una de las causas principales del fracaso de un proyecto, es la aplicación inadecuada e irregular de los tratamientos.

Monitorear los experimentos de campo

Etiquetar los árboles jóvenes

Ponles etiquetas a los árboles en el vivero antes de plantarlos, como se describe en la **Sección 7.4**. La información mínima en la etiqueta, debe ser el número de la especie y el número del árbol. Información adicional puede incluir el número de la parcela y el año de plantación, pero sea cual fuere el sistema usado, no debe haber dos árboles en todo el sistema de parcelas que lleven el mismo número, sin importar dónde o cuándo hayan sido plantados.

Cuándo monitorear

Como con el monitoreo básico (ver **Sección 7.4**), recoge datos aproximadamente dos semanas después de plantar y al final de cada estación de crecimiento (es decir, estación de lluvia), siendo el evento de monitoreo más importante, al final de la segunda estación de lluvia, después de plantar. Monitoreo adicional al final de la estación seca, puede proveer información más detallada, sobre cuándo y por qué mueren los árboles.

7.5 INVESTIGACIÓN PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LOS ÁRBOLES

¿Qué mediciones se deben hacer?

Registra la supervivencia, salud, altura, diámetro del cuello de raíces, ancho de la copa, puntuación de malezas, tanto para los árboles plantados y la regeneración natural, como para el monitoreo básico (ver **Sección 7.4**).

Mantiene el orden original cuando se ordenan las hojas de cálculo

Del evento de monitoreo previo

Ver la pág. 234 por las puntuaciones

Ver la pág. 235 por las puntuaciones

Monitoreo de árboles plantados

Nombre de archivo: Datos de monitoreo en MSM (proyecto de la Universidad)

Nombre de la parcela: 2006

Ubicación de la parcela: Ban Mae Sa Mai watershed

Fecha del monitoreo: 5 de noviembre 2006

Registradores(s): CK, PT, TS, SK

NÚMERO DE ORDEN	NÚMERO DE ESPECIES	NÚMERO DE ETIQUETA	NOTA PREVIA	DIÁMETRO DEL CUELLO DE RAÍCES (mm)	ALTURA (cm)	ANCHO DE LA COPA (cm)	PUNTUACIÓN DE SALUD (0-3)	PUNTUACIÓN DE MALEZA (0-3)	NOTA
401	344	10		15.0	49.5	56.0	3	3	
402	344	11		22.4	82.0	69.0	2	3	
403	344	12		29.4	185.0	95.0	2	3	
404	344	13		24.4	125.5	74.0	2	3	
405	344	14	MUERTO						
406	344	15		13.6	46.0	71.0	2	3	
407	344	16		20.6	66.5	63.0	3	2	
408	344	17		12.4	76.0	83.0	2	3	
409	344	18		16.0	59.0	60.0	3	2	
410	344	19		12.8	47.5	51.0	2	3	
411	344	20		28.4	177.5	89.0	3	2	
412	364	1		10.2	52.0	50.0	2	3	
413	364	2		21.4	49.0	7.0	2	3	
414	364	3		19.3	111.0	96.0	3	2	
415	364	4		14.2	55.0	44.0	2	3	
416	364	5		15.4	54.0	68.0	3	3	
417	364	6		10.5	53.5	54.0	2	3	
418	364	7		13.7	86.0	77.0	2	3	
419	364	8		15.7	100.0	62.0	2	3	
420	364	9		19.4	98.0	57.0	2	3	
421	364	10		14.8	61.0	49.5	2	2	
422	364	11		16.9	102	94.5	2	3	

Lo mismo que para las pruebas de fenología y germinación

Observaciones adicionales que puedan asistir a la interpretación de los datos y el monitoreo futuro



Ordena los datos primero por número de especie, y luego por número de árbol.

			15/7/98	19/11/98	9/11/99	5/10/00	15/7/98	19/11/98	9/11/99	5/10/00
Núm. de parcela	Núm. de especie	Núm. de árbol	Puntuación de salud (0-3)	Puntuación de salud (0-3)	Puntuación de salud (0-3)	Puntuación de salud (0-3)	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)
1	7	1	3	3	2	3	39	93	147	231
1	7	2	3	2	3	3	39	109	173	287
1	7	3	2	3	3	3	53	144	229	347
1	7	4	2	NF	0	0	56	NF	-	-
1	7	5	3	3	3	3	59	164	265	354
1	7	6	2.5	0	0	0	32	-	-	-
1	7	7	3	3	3	3	43	81	128	252
1	7	8	3	3	3	3	41	68	108	171
1	7	9	0.5	0	1	2	30	-	21	40
1	7	10	3	2.5	3	3	64	63	237	300
1	7	11	3	0.5	3	3	49	48	160	300
1	7	12	0.5	0	NF	0	34	-	NF	-
1	7	13	2.5	0	0	0	44	-	-	-
1	7	14	2	1.5	3	2.5	30	29	106	297
1	7	15	2	2	0	0	27	26	-	-
1	7	16	3	2.5	3	3	23	43	90	125
1	7	17	3	3	2.5	3	37	51	140	166
1	7	18	3	2.5	3	0	39	60.5	20	-
1	7	19	3	3		3	28	99	NF	341
1	7	20	2.5	2.5	1.5	3	35	46.5	53	110

Análisis de los datos e interpretación

Organiza las hojas de cálculo

Primero, introduce los datos de campo, en hojas de cálculo de la computadora. Inserta los datos nuevos a la derecha de los datos registrados previamente, de modo que, una fila represente el progreso de un árbol individual, yendo cronológicamente de izquierda a derecha. Después, ordena los datos por filas, primero por el número de especie y luego por número de árbol. Esto junta en grupos a todos los árboles de la misma especie. Introduce las fechas en las que los datos fueron colectados en la celda, inmediatamente encima de cada encabezamiento de columna. Luego, ordena la hoja de cálculo por columna (de izquierda a derecha), primero por el encabezamiento de la columna (fila 2) y luego por la fecha (fila 1). Esto agrupa los mismos parámetros en orden cronológico, de izquierda a derecha. Los datos pueden ser fácilmente escaneados ahora, por características interesantes o anomalías, para extraer los valores requeridos abajo, para un análisis estadístico más detallado.

Comparar las especies

Como en los experimentos de vivero, podrías empezar comparando la supervivencia y crecimiento entre las especies. Para comparar las diferencias en la supervivencia, empieza con los árboles en las parcelas de CT solamente: escanea las hojas de cálculo y cuenta el número de árboles supervivientes en la parcela de CT, en cada bloque. Si se ha plantado el mismo número de especies de árboles en cada parcela, simplemente introduce el número de árboles supervivientes en una nueva hoja de cálculo, con las especies como encabezamiento de las columnas y una fila por bloque (o réplica), como se muestra abajo. Si se han plantado números diferentes de árboles de cada especie, entonces calcula el porcentaje de supervivencia en cada parcela, e introduce estos datos en una nueva hoja de cálculo. Luego, sigue las instrucciones en el **Apéndice 2** para hallar el arcoseno de los datos y llevar a cabo un ANOVA. En este caso, cada especie es el equivalente de un 'tratamiento' (no hay control cuando se comparan especies).

7.5 INVESTIGACIÓN PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LOS ÁRBOLES

15/7/98	19/11/98	9/11/99	5/10/00	19/11/98	9/11/99	5/10/00	9/11/99	5/10/00
Diámetro de cuello de raíces (RCD) (mm)	Diámetro de cuello de raíces (RCD) (mm)	Diámetro de cuello de raíces (RCD) (mm)	Diámetro de cuello de raíces (RCD) (mm)	Puntuación de maleza (0-3)	Puntuación de maleza (0-3)	Puntuación de maleza (0-3)	Ancho de la copa (cm)	Ancho de la copa (cm)
6.2	14.8	23.3	36.7	3	2.5	1	73	115
7.1	17.3	27.5	45.6	2.5	2	2	86	143
9.4	22.9	36.4	55.1	3	2	1	114	173
9.2	NF	-	-	NF	-	-	-	-
10.1	26.2	42.2	56.3	1.5	1	0.5	148	200
6.7	-	-	-	-	-	-	-	-
5.5	12.9	20.3	40.1	1	1	0.5	64	126
4.5	10.8	17.1	27.2	1.5	1	1	95	150
6.1	-	2.1	5.4	-	-	-	-	-
6.7	18.2	29.6	59	1.5	1	1	150	200
5.1	13.4	21.6	47	1.5	1	2	103	200
4.3	-	NF	-	-	NF	-	NF	-
6.5	-	-	-	1.5	-	-	-	-
5.6	9.3	13	37	1.5	2	2	93	150
5.6	6.1	-	-	1.5	-	-	-	-
3.2	10.6	18	21	1.5	1.5	1	80	75
5.4	15.2	25	22	1.5	2	1	90	125
4.3	3.9	3.4	-	1.5	1.5	-	23	-
5.9	24	NF	54	1.5	NF	0	NF	200
5.6	9.2	12.8	14	1.5	0.5	2	65	108

Después, ordena las columnas por encabezamiento y luego por fecha, para agrupar los parámetros en orden cronológico, de izquierda a derecha.

Se puede seguir el mismo procedimiento, para comparar la altura media de las especies, diámetro del cuello de raíces (DCR), ancho de la copa, y las tasas relativas de crecimiento de cada parcela de CT, aunque estos datos no necesitan ser transformados por arcoseno. Adicionalmente al tamaño total de los árboles (altura o DCR), es útil saber cómo de rápido crecen los árboles. Esto

		ESPECIE																			
		\$1	\$2	\$3	\$4	\$5	\$6	\$7	\$8	\$9	\$10	\$11	\$12	\$13	\$14	\$15	\$16	\$17	\$18	\$19	\$20
Bloque 1		24	4	10	2	25	20	15	10	2	14	25	24	18	5	7	8	12	17	1	5
Bloque 2		22	2	11	3	25	21	16	13	3	15	24	24	13	6	8	9	13	16	2	6
Bloque 3		26	3	12	2	25	23	14	14	5	16	25	25	18	7	9	8	14	15	1	7
Bloque 4		25	4	13	3	24	22	15	13	6	13	24	23	18	8	7	7	13	17	2	6

Número de árboles supervivientes de cada especie, en la parcela de control de tratamiento (CT) de cada bloque, al final de la segunda estación de lluvia después de plantar. Se plantaron veintiséis árboles de cada especie, en cada parcela de CT.

es especialmente importante en proyectos de restauración de bosques, para almacenamiento de carbono. Cuanto mayor sea el árbol al empezar, más rápido crecerá, de modo que la tasa de crecimiento relativo (TCR), se usa para comparar el crecimiento de los diferentes árboles. La TCR indica el incremento en el tamaño de la planta, como porcentaje del tamaño promedio de la planta, a través del período de mediciones y así se puede usar para comparar el crecimiento de árboles que eran relativamente grandes en el momento de ser plantados, con aquellos relativamente más pequeños. La TCR se puede calcular en términos de la altura de los árboles así:

$$\frac{\ln A (18 \text{ meses}) - \ln A (\text{al plantar}) \times 36,500}{\text{Núm. de días entre las mediciones}}$$

... donde ln A es el logaritmo natural de la altura del árbol (cm). La TCR es un porcentaje anual de incremento en el tamaño. Ten en cuenta las diferencias en los tamaños originales de los árboles plantados, de manera que se pueda usar para comparar los árboles que eran mayores en el momento de la plantación, con los que eran más pequeños. Compara los valores medios de la TCR, entre las especies a través de ANOVA. La misma fórmula se puede usar, para calcular las tasas de crecimiento relativo del diámetro del cuello de raíces y anchos de las copas.

Comparaciones de especies, basadas únicamente en el rendimiento del campo, no son suficientes para tomar una decisión definitiva sobre qué especie plantar. Vete a la **Sección 8.5**, para ver cómo se pueden combinar los datos de rendimiento del campo, con otros parámetros importantes, a la hora de tomar la decisión final sobre qué especies funcionan mejor.

Comparar tratamientos

Los efectos de los tratamientos en especies individuales, se pueden determinar usando exactamente el mismo procedimiento analítico. De la hoja de cálculo principal, cuenta el número de árboles supervivientes (o calcula el porcentaje de supervivencia) de una sola especie, para cada tratamiento y control de parcelas en todos los bloques. Elabora una nueva hoja de cálculo, con los tratamientos como encabezamientos de las columnas (TC, T1, T2, etc.) y bloques (o réplicas) como filas. Luego, sigue las instrucciones en el **Apéndice 2**, para calcular el arcoseno de los datos y llevar a cabo un ANOVA.

Sustituye los datos de supervivencia con los valores medios de las parcelas, para alturas TCR y DCR, ancho de las copas y reducción en la puntuación de las malezas, para determinar los efectos de los tratamientos, en otros aspectos del rendimiento del campo (una vez más, no es necesario transformar estos datos). Luego, repite el mismo procedimiento para todas las especies.

Los diferentes tratamientos, afectarán de manera diferente a las diferentes especies. No es práctico proveer tratamientos, que sean óptimos para cada especie en parcelas con 20 o más especies, de manera que el objetivo del análisis es determinar la combinación óptima de tratamientos, que tienen un efecto positivo en la mayoría de las especies plantadas.

Experimentos con siembra directa

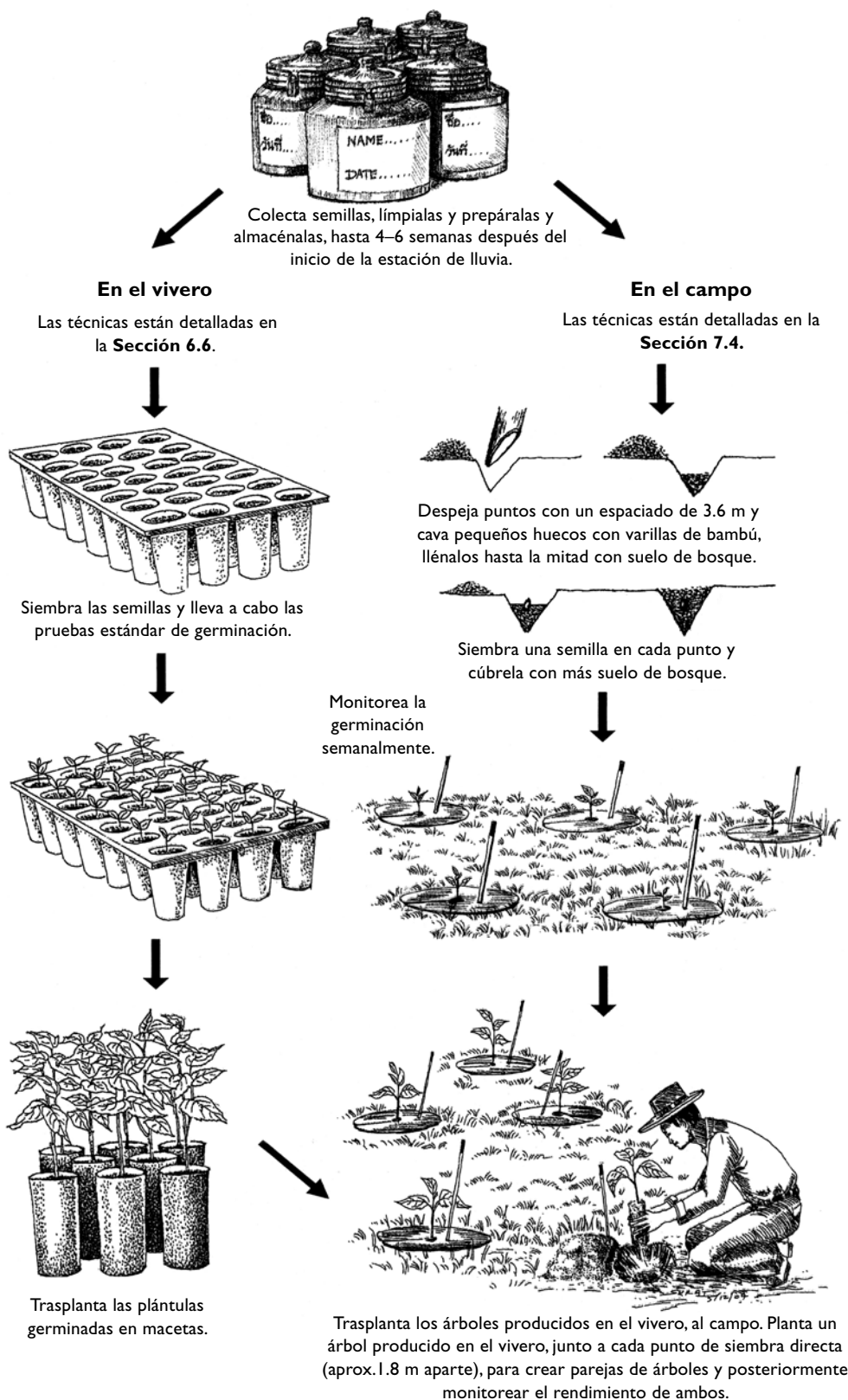
La siembra directa se ha descrito como una alternativa potencialmente barata, a la plantación de árboles en las **Secciones 5.3** y **7.2**, pero hay escasa información disponible, sobre qué especies de árboles son idóneas para esta técnica (**Tabla 5.2**). El éxito o el fracaso de la siembra directa de cada especie de árbol, depende de una combinación de varios factores, incluyendo la estructura y el estado vegetativo de las semillas, el atractivo de las semillas en depredadores, la susceptibilidad de las semillas a la desecación, las condiciones del suelo y la vegetación circundante. Por ello, son necesarios los experimentos para determinar si una especie de árbol se establece mejor por la siembra directa, o plantando árboles producidos en un vivero y para determinar los ahorros en costos que logran (si los hubiera).

La información requerida para la siembra directa

Antes de que se pueda empezar un experimento de siembra directa, es necesario saber: i) cuál es el tratamiento pregerminativo óptimo para acelerar la germinación de las semillas, y ii) si la fructificación no sucede en el momento óptimo para la siembra directa (es decir, al comienzo de la estación de lluvia en bosques tropicales estacionales), cuál es el mejor protocolo de almacenamiento de semillas, para retener la viabilidad de éstas durante el período entre la colecta de las semillas y la siembra directa. Los experimentos de vivero requeridos para responder estas preguntas, están descritos en la **Sección 6.6**. Tardarán por lo menos un año en completarse, antes de que se pueda empezar con los experimentos de siembra directa.

Una de las principales causas de fracaso de la siembra directa, es la depredación de semillas. Si se tratan las semillas, para acelerar la germinación antes de ser sembradas en los sitios deforestados, el tiempo de que disponen los predadores para encontrarlas y consumirlas es reducido, y consecuentemente, las posibilidades de que las semillas sobrevivan el tiempo suficiente para germinar, se incrementan. Los tratamientos para acelerar la germinación en el vivero, pueden no obstante, a veces incrementar el riesgo de desecación, de las semillas en el campo o hacerlas más atractivas para las hormigas, al exponer sus cotiledones. Para las especies de árboles con semillas recalcitrantes que son difíciles de almacenar, la siembra directa es solamente una opción para aquellas especies que fructifican en el tiempo óptimo para la siembra directa.

Pasos para un diseño de experimento de siembra directa



Métodos para experimentos de siembra directa

Recolecta semillas de varios árboles, combínalas y mézclalas, límpialas y prepara las semillas de la manera estándar y si fuera necesario, almacénalas hasta el momento de plantarlas, usando el protocolo de almacenamiento más eficiente desarrollado en experimentos previos.

En el vivero, siembra las semillas en bandejas modulares y realiza una prueba de germinación estándar, comparando el control de semillas (sin tratamiento), con aquellas sometidas al tratamiento más eficiente, para acelerar la germinación resultante de los experimentos previos.

En el campo, usa el mismo diseño que el usado en el vivero, con el mismo número de tratamientos y réplicas de control, y el mismo de semillas en cada réplica, pero en vez de usar bandejas modulares de germinación, siembra las semillas directamente en los puntos de siembra marcados con la varilla de bambú y con un espaciado de 3.6 m, a través del sitio de estudio. Siembra una semilla en cada punto.

Monitorea la germinación semanalmente, tanto en el campo como en el vivero y analiza los resultados usando el método ya descrito en la **Sección 6.6**. En el campo, después de la conclusión de la germinación, trata de desenterrar e inspeccionar todas las semillas que no han germinado. Esto podría ayudar a determinar, cuántas semillas han sido removidas o dañadas por predadores de semillas y cuántas parecen intactas, que simplemente fracasaron en germinar.

En el vivero, una vez que la germinación haya concluido, transfiere las plántulas germinadas a macetas, de la manera usual. Usa el protocolo estándar, desarrollado a partir de experimentos previos, para producir las plantas en el vivero. Monitorea y analiza el crecimiento como se describe arriba. Monitorea las plantas de la misma manera en el campo.

Una vez que los árboles han crecido lo suficientemente altos como para ser plantados, trasplántalos al campo de la manera habitual. Esto puede ser 1 o 2 años después de realizar la siembra directa. Planta un árbol producido en el vivero, junto a cada árbol establecido por siembra directa (aprox. a 1.8 m unos de otros), para crear parejas de árboles. Monitorea el rendimiento en el campo de los árboles emparejados, durante al menos dos años después de haber plantado a los árboles producidos en el vivero. Usa pruebas-t emparejadas, para comparar el crecimiento de los árboles producidos en el vivero y los sembrados directamente.

Otros experimentos con siembra directa

Hay muchos otros tratamientos, que se pueden incorporar en el diseño experimental básico. Si enterrar la semilla en el campo, no evita su depredación, intenta experimentar tratando las semillas con repelentes químicos, para quitarles el atractivo a los depredadores de semillas; pero no olvides probar los efectos de los repelentes químicos en semillas germinadas en el vivero, en caso de que el repelente también afecte la germinación.

Asimismo, los experimentos que varían los procedimientos de mantenimiento usados alrededor de los puntos de siembra directa, podrían sugerir cómo mejorar los resultados. Trata de alterar el régimen del desmalezado o colocar mulch alrededor de los puntos de siembra directa, para prevenir la germinación de malezas en la vecindad inmediata a las plántulas, especialmente en los primeros meses después de la germinación, o siembra más de una semilla en cada punto de siembra directa, para superar los efectos de las tasas bajas de germinación.



La siembra directa ciertamente funciona para algunas especies. Compara el árbol *Sarcosperma arboreum* sembrado directamente a la izquierda, con aquel producido en el vivero, germinado del mismo lote de semillas a la derecha.

¿Se puede ahorrar dinero con la siembra directa?

Ya que la siembra directa no requiere un vivero, esta debería reducir los costos de restauración de bosque. La siembra directa, sin embargo, requiere desmalezar alrededor de los puntos de siembra, puesto que las plántulas recientemente germinadas son altamente vulnerables a la competencia con las malezas. La aplicación de fertilizantes y mulch alrededor de los puntos de siembra directa, durante el primer año, también incrementa los costos. Se debe por ello, mantener una cuenta detallada de todos los gastos a lo largo del experimento de siembra directa, para determinar si esta técnica, realmente reduce los costos generales de la restauración del bosque.

7.6 Investigación de la recuperación de la biodiversidad

La última medida del éxito de la restauración de bosques, es el alcance del retorno de la biodiversidad, a los niveles asociados con el ecosistema del bosque-objetivo. Por ello, el propósito del monitoreo de la biodiversidad es determinar lo rápido que esto sucede y, por último, mejorar los métodos de restauración, con respecto a la recuperación de la biodiversidad.

No es práctico monitorear *toda la* biodiversidad, de modo que para la restauración de bosques, el monitoreo de la biodiversidad se enfoca en aquellos componentes, que se relacionen directamente con el re-establecimiento de los mecanismos naturales de regeneración del bosque, particularmente la dispersión de semillas y el establecimiento de plántulas de especies reclutadas (es decir, especies de árboles entrantes, no incluidas en aquellas que fueron plantadas). Algunas especies o grupos, podrían servir como indicadores de la salud general del bosque.

Hay cuatro preguntas cruciales:

- ¿Los árboles plantados (y/o técnicas de RNA) producen recursos (por ejemplo, flores, frutos etc.) a una edad temprana, que posiblemente atraigan a animales dispersores de semillas?
- ¿Hay animales dispersores de semillas presentes en el área, y si es el caso, están realmente atraídos por estos recursos?
- ¿Germinan realmente las semillas traídas por estos animales, incrementando la riqueza de plántulas y árboles jóvenes establecidos naturalmente, debajo de los árboles plantados?
- ¿Las semillas dispersadas por el viento, también se establecen naturalmente?

Aquí, presentamos unas cuantas técnicas que se pueden usar para responder a estas preguntas. El monitoreo del rendimiento de los árboles plantados, puede mostrar claras mejoras dentro de 2–3 años, pero la recuperación de la biodiversidad toma mucho más tiempo; el monitoreo puede continuar por periodos de 5–10 años, pero a intervalos menos frecuentes.

Los requerimientos para el monitoreo de la biodiversidad, deben considerarse desde el principio de los experimentos de campo, en el momento de diseñar un SPPC. Se deben incluir parcelas de control no-plantadas en un SPPC, y se debe realizar una inspección de la biodiversidad de las parcelas de control, y de las parcelas que estarán sujetas a los tratamientos de restauración, antes de la preparación del sitio. Esto provee los datos esenciales de línea de base, contra los cuales se compararán los cambios posteriores de la biodiversidad. Se inspeccionará entonces la biodiversidad, tanto en las parcelas de control como de restauración, y se compararán con la del bosque cercano intacto (es decir, la comunidad del bosque-objetivo).

Registra los datos después de cada sesión, se harán dos tipos de comparaciones: i) comparaciones de antes y después entre los datos actuales y de línea de base (pre-plantación); y ii) comparaciones entre parcelas de control y parcelas de restauración. De esta manera, se pueden distinguir las mejoras de la recuperación de la biodiversidad, alcanzadas por las acciones de restauración de la sucesión ecológica natural. La recuperación relativa de la biodiversidad, se puede calcular como un porcentaje de aquella registrada por los mismos métodos en el bosque-objetivo.

Estudios de fenología

Caminatas frecuentes a través de las parcelas de restauración, a la vez que se va anotando qué árboles están floreciendo o fructificando, puede producir la mayoría de los datos necesarios, para determinar si los árboles dentro de las parcelas de restauración, están produciendo los recursos posibles para atraer a animales dispersores de semillas. Establece un sistema de senderos, a través del centro de todas las parcelas. Camina mensualmente por los senderos, registrando la siguiente información de los árboles que se encuentren a 10 m del sendero:

- fecha de la observación;
- número de identificación de bloque/parcela;
- número del árbol (incluyendo el número de especie);
- presencia de flores o frutos: usa el sistema de puntuación 0–4 (ver **Sección 6.6**);
- señales de vida salvaje: nidos, huellas, excrementos etc., tanto en/como alrededor de los árboles;
- observaciones directas de animales que usan el árbol como alimento, árbol percha, etc.

Registra cada observación, como una fila única en una hoja de cálculo, para permitir una recopilación fácil de los datos por especie o fecha. Determina la edad más joven (tiempo desde la plantación) a la que los primeros individuos de una especie, empiezan a florecer y fructificar. La frecuencia de las observaciones (dentro de una especie), se puede usar como un indicador general de la prevalencia de florecimiento y fructificación, a nivel de la especie.

Para detalles adicionales, mide el perímetro a la altura del pecho (PAP) o DCR y la altura de los árboles florecientes o con frutos, para establecer las correlaciones entre el tamaño y la edad, de la madurez del árbol. El florecimiento de algunas especies, puede ser inhibido si los árboles reciben demasiada sombra de las copas de los árboles vecinos. Si hubiera alguna variación en la incidencia de la floración dentro de una especie, se puede también registrar, una puntuación de sombra para cada árbol floreciente. Adicionalmente a la evaluación de la producción de recursos de la vida salvaje por los árboles plantados, las inspecciones mensuales pueden ofrecer mucha información adicional, sobre las especies de árboles plantadas, tales como la erupción de pestes y enfermedades, y pueden proveer una alerta temprana de las perturbaciones en las parcelas, por actividades humanas. Este tipo de monitoreo simple de calidad es una manera excelente de involucrar a los pobladores locales, en el monitoreo de los sitios de restauración de bosques, ya que se aprende con facilidad y no requiere capacidades especiales.



El material de plantación de *Bauhinia purpurea* empieza a florecer y fructificar 6 meses después de plantadas, proveyendo alimento para aves e insectos.

El monitoreo de la vida salvaje

Todas las especies de la vida salvaje (tanto plantas como animales) que re-colonizan, contribuyen a la biodiversidad, pero los animales dispersores de semillas, pueden acelerar la recuperación de la biodiversidad más que otras especies. Aves, murciélagos frugívoros y mamíferos de tamaño mediano son el grupo de mayor interés, pero de estos, la comunidad de aves es la más fácil de estudiar.

Las aves son un grupo indicador importante

Las aves proveen un indicador conveniente para la evaluación de la biodiversidad porque:

- son relativamente fáciles de ver y muchos son fáciles de identificar;
- hay ahora buenas guías de aves, que cubren la mayor parte de los trópicos;
- la mayor parte de las especies están activas durante el día;
- las aves ocupan la mayoría de los niveles tróficos en los ecosistemas de los bosques — herbívoros, insectívoros, carnívoros etc. — y de ahí que una alta diversidad de aves, normalmente indica una alta diversidad de plantas y especies de presa, especialmente insectos.

¿Qué preguntas se deben abordar?

- ¿Qué especies de aves había antes de la restauración?
- ¿Qué especies de aves son características del ecosistema del bosque-objetivo, y regresan estas especies a las parcelas restauradas? Y si fuera el caso, ¿con qué rapidez, después de comenzar las acciones de restauración?
- ¿Cuáles de las especies que visitan las parcelas, son las más probables de dispersar las semillas de árboles de bosque a las parcelas de restauración?
- ¿Qué especies de aves desaparecieron a causa de las actividades de restauración de bosque y cuándo?

¿Cuándo y dónde se deben realizar estudios de aves?

Haz un estudio de las aves en todo el SPPC una vez que ha sido demarcado, pero antes de implementar cualquier actividad que pueda alterar los hábitats de aves (es decir, antes de preparar el sitio para la plantación). Este estudio provee los datos de línea de base, contra los cuales se comparan los cambios. De ahí en adelante, realiza estudios de aves de la misma intensidad, tanto en las parcelas de restauración como de control, y también en las áreas más cercanas al bosque-objetivo (ver **Sección 4.2**). Los estudios anuales de aves son normalmente suficientes

Hoja de registro de estudio de aves			Nombre de archivo: Parcela de restauración, 10 años de edad			
Fecha: 17/12/05			Clima: soleado, muy cálido			
Número de bloque: G1			Número de parcela: EG01			
Hora de comienzo: 09H30			Hora de término: 06H30		Registradores: DK, OM	
Hora	Especie	Núm. de aves (sexo)	Avistamiento o canto/ llamada	Distancia desde punto (m)	Actividad	Especie de árbol (si fuera apropiado)
06.30	Bulbul de cresta negra	2	Avistamiento	10	Alimentándose de frutos	<i>Ficus altissima</i>
06.30	Minivete de alas barreadas	1	"	10	Forrajeando insectos	<i>Ficus altissima</i>
06.30	Papamoscas de Banyumas	1	"	10	Capturando moscas	<i>Choerospondias axillaris</i>
06.40	Bulbul de Caudal Negro	3	"	15	Colorado desde corona	<i>Betula alnoides</i>
06.45	Mosquitero Blistado	2	"	5	Moviéndose a través de copas, forrajeando	Muchas especies
06.45	Mosquitero de Pallas	1	"	5	Moviéndose a través de copas, forrajeando	Muchas especies
06.45	Arrendajo Euroasiático	2	Se oyeron llamadas	30	Llamando desde árboles vecinos	Desconocido
06.50	Shama de Seychelles	1 macho	Avist./ canto	8	Forrajeando en suelo de bosque, también corto estallido de canto	
06.55	Cucal Malgache	1	Visto	10	Volando a través de árboles	
07.05	Yujina Estriada	10+	"	5	Moviéndose a través de copas, alimentándose	Muchas especies
07.10	Bulbul Montañés	2	"	12	Alimentándose de frutos	<i>Ficus hispida</i>
07.22	Avión Asiático	25+	"	50	Cazando insectos en el aire	
07.30	Picaflor Dorsirojo	1 macho	"	5	Alimentándose de néctar	<i>Erythrina subumbrans</i>

para detectar algún cambio, en las comunidades de aves. Realiza los estudios de aves siempre durante el mismo tiempo del año, ya que la riqueza de las aves fluctuará de acuerdo a los patrones estacionales de migración. Observa las aves, durante las primeras 3 horas después de amanecer y las últimas 3 horas antes de anoecer. Programa períodos de observación de 1 hora en cada parcela, alternando alrededor de las parcelas a intervalos de una hora, pero asegúrate de que, a lo largo de todo el período del estudio, todas las parcelas sean estudiadas la misma cantidad de horas, parejamente distribuidas entre períodos de observación en las mañanas y en las tardes.

Recolecta de datos

Usa el método del 'conteo de puntos' para contar las aves, desde el centro de cada parcela. Este método se puede usar tanto para contar las especies, como para estimar la densidad de la población avícola (Gilbert *et al.*, 1997; Bibby *et al.*, 1998). Párate en el centro de cada parcela y registra todos los contactos con aves durante 1 hora, tanto por avistamiento como por canto. Registra las especies y cantidad de aves, y estima la distancia desde el observador cuando las aves aparecen por primera vez en la parcela. Para reducir el riesgo de registrar la misma ave individual varias veces, no registres a los individuos de la misma especie durante cinco minutos, después de haber registrado al primero de esa especie. Registra las especies de árboles (y el número del árbol si estuviera etiquetado), en los que las aves tienen alguna actividad (particularmente alimentándose) y su posición (tronco, dosel inferior, dosel superior, etc.).



Usa binoculares, telescopios y tus oídos, para detectar aves a 20 m desde un solo punto, en el centro de una parcela de prueba de restauración de bosque.

Análisis de datos

Contesta la mayoría de las preguntas enumeradas anteriormente, simplemente repasando las listas de especies y contando el número de especies de aves que re-colonizan las parcelas de restauración y aquellas que desaparecen como resultado de las actividades de restauración.

Para calcular el alcance de la recuperación de la comunidad de aves, compara la lista de especies para el bosque-objetivo prístino, con aquella de las parcelas restauradas. Calcula el porcentaje de las especies encontradas en el bosque, que también se encuentran en las parcelas restauradas y observa cómo este porcentaje cambia a lo largo del tiempo de los sucesivos estudios. A continuación, determina cuáles de estas especies son frugívoros. Estas son las especies cruciales con mayor posibilidad de dispersar semillas, desde el bosque a las parcelas de restauración.

Para un análisis cuantitativo de la riqueza de especies de las comunidades de aves, recomendamos el método de listas de MacKinnon (Mackinnon & Phillips, 1993; Bibby *et al.*, 1998), que provee un medio para calcular una curva de recuperación de especies y un índice de abundancia relativa. Para las instrucciones completas paso a paso y un ejemplo trabajado, ver Parte 5 de FORRU, 2008 (www.forru.org/FORRUEng_Website/Pages/engpublications.htm).



Los bulbules son los 'caballos de trabajo' de la restauración de bosques en África y Asia. Se alimentan de frutos en los bosques remanentes y dispersan las semillas de muchas especies de árboles, a través de sus excrementos, en las parcelas de restauración de bosque.

Mamíferos

Los mamíferos se pueden dividir en dos grupos de interés: i) las especies frugívoras, que son capaces de dispersar las semillas del bosque intacto, a los sitios restaurados (por ejemplo, ungulados grandes, civetas, murciélagos frugívoros etc.); y ii) los predadores de semillas, que podrían limitar el establecimiento de plántulas de especies de árboles reclutadas en el sitio de restauración (particularmente los roedores pequeños).

Los mamíferos son bastante más difíciles de estudiar que las aves, ya que la mayoría de especies son nocturnas y muy tímidas, de manera que las observaciones directas de mamíferos son normalmente poco frecuentes. Se usan normalmente datos oportunistas, anecdóticos (en vez de datos sistemáticos, cuantitativos), para determinar la recuperación de las comunidades de mamíferos, después de la restauración del bosque.

Para mamíferos de tamaño mediano o mayores, la trampa de cámaras es una manera muy efectiva para determinar el regreso de las especies, a los sitios restaurados. Cámaras digitales camufladas en cajas resistentes a la intemperie, que son activadas por movimientos en el campo de vista, nunca han sido baratas (a partir de \$100–200). Los dispositivos electrónicos protegidos por contraseña, significan que las cámaras no tienen ningún valor potencial para los ladrones. Las baterías duran varios meses y se pueden acumular miles de imágenes en una sola tarjeta de memoria (por ejemplo, www.trailcampro.com/cameratrapsforresearchers.aspx).



Trampas de cámara capturan imágenes en blanco y negro de noche (sin flash) y en color durante el día, de cualquier cosa que se mueva. El tejón porcino (arriba izquierda) y la gran civeta de la India (arriba derecha) traen semillas a las parcelas de restauración. Los gatos leopardos (abajo izquierda) ayudan a controlar los depredadores de semillas. Las cámaras también pueden ayudar a detectar la caza ilegal (abajo derecha).

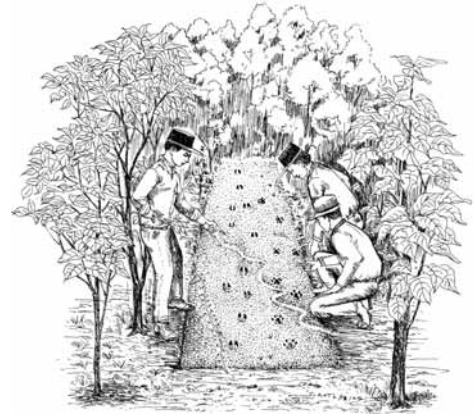
La captura viva, usando trampas para ratas localmente disponibles, es otra técnica útil, particularmente para mamíferos pequeños como los roedores, pero es intensivo en mano de obra y por ello costoso. Coloca trampas con carnadas 10–15 cm aparte, usando un diseño de cuadrícula de 7 × 7. Espera tasas de captura de menos de 5%, de modo que se requiere una gran cantidad de esfuerzo, para obtener relativamente pocos datos. Espera registrar una marcada disminución de la población de los roedores depredadores de semillas, en las parcelas de restauración 3–4 años después de la plantación, tiempo en el que la densa vegetación que provee protección para mamíferos tan pequeños, se habrá sombreado por el dosel del bosque en desarrollo. Cuando trates a animales salvajes, asegúrate de que tus vacunas contra enfermedades causadas por animales, particularmente la rabia, estén actualizadas.

La mayoría de los registros de mamíferos en las parcelas de restauración de bosque, deben venir de observaciones indirectas de sus huellas, restos de forrajeo y otras señales. Éstas se pueden registrar, durante el monitoreo regular de fenología de las parcelas plantadas y de control (no-plantadas). La frecuencia de las observaciones, se puede usar como índice de abundancia y para determinar, si el número de especies individuales de mamíferos están aumentando o disminuyendo. Realiza un estudio similar, con el mismo grado de esfuerzo de muestreo, en el fragmento más cercano de bosque intacto, para determinar qué porcentaje de la fauna de mamíferos original, recoloniza las parcelas restauradas.

Las trampas de arena hacen las huellas más visibles y más fáciles de identificar.

Para una evaluación más cuantitativa, usa trampas de arena para registrar la densidad y frecuencia de huellas de mamíferos. Despeja la hojarasca las parcelas de muestreo y espolvorea la superficie del suelo con harina o arena. Los mamíferos que caminen a través de las parcelas de muestreo, dejarán sus huellas marcadas y entonces podrán ser medidas e identificadas.

Finalmente, la información anecdótica se puede recoger de los pobladores locales, a través de entrevistas. Usa imágenes de identificación de mamíferos y manuales (en vez de los nombres locales), para preguntar a los pobladores locales qué especies de mamíferos se ven con frecuencia en el SPPC y los bosques remanentes en la vecindad, y si estas especies parecen estar aumentando o disminuyendo en abundancia.



Monitorear las especies de árboles 'reclutas'

En los ecosistemas de bosques tropicales, la mayoría de las semillas son dispersadas por animales. Uno de los objetivos principales de los estudios de aves y mamíferos, es determinar si los sitios de restauración atraen a los dispersores de semillas, pero ¿acaso las semillas traídas por los animales germinan realmente y crecen llegando a ser árboles que contribuyen a la estructura general del bosque?. Esta pregunta se puede contestar con estudios periódicos, para identificar las especies de árboles 'reclutas' (es decir, especies de árboles no-plantados, que naturalmente recolonizan el sitio).

En los ecosistemas de bosques, la comunidad de árboles es un buen indicador de la biodiversidad general de comunidades. Los árboles son el componente dominante del ecosistema, proveyendo varios hábitats y nichos para otros organismos, como aves y epífitas. Son la base de la red de alimento, y aportan la mayor parte del nutriente y de la energía en el ecosistema. Cuanto más diversa es la comunidad de árboles, más probable es que los otros elementos de la biodiversidad se recuperen. Los árboles son fáciles de estudiar. Son inmóviles, fáciles de encontrar y relativamente fáciles de identificar.

¿Qué preguntas se deben abordar?

- ¿Qué especies de árboles están presentes, antes de comenzar con las actividades de restauración?
- ¿Qué porcentaje de las especies de árboles, que comprende el ecosistema de bosque-objetivo, re-colonizan las parcelas de restauración?
- ¿Qué especies de hierbas forestales re-colonizan las parcelas de restauración de bosque y con qué rapidez, después de la plantación de árboles?

¿Cuándo y dónde se deben realizar los estudios de la vegetación?

Haz un estudio del área del SPPC una vez que haya sido demarcado, pero antes de implementar las actividades que alteran la vegetación (es decir, antes de preparar el sitio para plantar). Esto proporciona los datos de línea de base, con los que se comparan los cambios. De ahí en adelante, realiza estudios de la vegetación con el mismo esfuerzo de muestreo, tanto en las parcelas de restauración, como de control y también en el área vecina a los bosques-objetivo, para determinar cuántas especies del sistema del bosque-objetivo, re-colonizan las parcelas de restauración.

En climas estacionalmente secos, el carácter de la vegetación, particularmente la presencia o ausencia de hierbas anuales, varía dramáticamente con las estaciones. Para capturar esta variabilidad, realiza estudios de la vegetación 2–3 veces cada año, en los primeros años después de plantar y posteriormente a intervalos más largos. Si sólo tienes recursos para realizar estudios una vez al año, asegúrate de que se realicen siempre en la misma época del año. Por supuesto, al desmalezar en los primeros años se perturbará la vegetación. Por ello, realiza los estudios de vegetación, justo antes del periodo en el que esté programado desmalezar.

Métodos de muestreo de vegetación

Establece unidades de muestreo (UM), circulares y permanentes, a través de todo el sitio de estudio, con el mismo número de UM en las parcelas de restauración, control (CNP) y bosques-objetivo remanentes. Marca el centro de cada unidad de muestreo con un poste de metal o concreto (no-inflamable) y usa un pedazo de cuerda de 5 m, para determinar el perímetro de cada UM. Posiciona por lo menos cuatro UM al azar en cada parcela de 50 x 50 m. Las especies que están presentes fuera de las UM, también se pueden registrar como 'presentes en los alrededores'. Aunque no contribuyan a los índices de diversidad para las UM descritos abajo, proveerán una evidencia cualitativa de la recuperación de la biodiversidad.

Recolecta de datos

Dentro de cada UM, etiqueta cada árbol joven que sea más alto de 50 cm. En cada árbol etiquetado, registra: i) el número de etiqueta; ii) si el árbol ha sido plantado o se ha establecido naturalmente; iii) el nombre de la especie; iv) altura; v) DCR (o PAP si fuera lo suficientemente grande); vi) puntuación de salud (ver **Sección 7.5**); vii) ancho de copa; y viii) número de rebrotes de tocón. Todas las plántulas de árboles que tienen menos de 50 cm de altura, se pueden considerar como flora del suelo.



Al empezar con los estudios de la vegetación, trabaja con un botánico profesional en el campo si fuera posible.

Se puede realizar un estudio de la flora del suelo al mismo tiempo, pero para este estudio, el radio de la UM se puede reducir a 1 m. Registra los nombres de todas las especies reconocidas, incluyendo todas las hierbas y enredaderas y todos los árboles leñosos, arbustos y trepadoras (de menos de 50 cm). Asigna una puntuación de abundancia a cada especie (por ejemplo, usa la escala de Braun-Blanquet o la de Domin).

Para las identificaciones de especies, es más fácil trabajar directamente en el campo con un botánico experto en taxonomía, antes de recolectar especímenes voucher para todas las especies encontradas y hacerlas identificar en un herbario.

Análisis de los datos

Analiza los datos de los árboles mayores de 50 cm y el resto de la flora del suelo, por separado. Prepara una hoja de cálculo, con las especies listadas en la primera columna (todas las especies encontradas en todo el estudio, en todas las UM) y números de las UM en la línea superior. En cada celda, registra el número de árboles de cada especie, en cada UM (o la puntuación que abunde). La lista de especies para todo el estudio será larga y el número de especies en cada UM será relativamente corta, de manera que la mayoría de valores registrados en la matriz de datos, será cero. Sin embargo, aun así se deben registrar los valores cero, para permitir el cálculo de índices de semejanza y/o diferencia. Añade los datos de cada estudio posterior a la derecha de los datos actuales, de modo que se puedan ordenar fácilmente por orden cronológico, por columna.

Empieza simplemente revisando los datos y comparando las listas de especies, para las parcelas de restauración, control no-plantado y bosque objetivo. ¿Qué especies pioneras tolerantes al sol, son las primeras en ser sombreadas por los árboles que han sido plantados, o han regenerado naturalmente? ¿Qué especies típicas del bosque-objetivo, son las primeras en establecerse naturalmente en las parcelas de restauración? ¿Han sido dispersados por el viento o por animales?. Si fuera lo último, ¿qué especies de animales podrían con más probabilidad, haber traído sus semillas a las parcelas de restauración? ¿Qué especies plantadas son las más probables de haber atraído a estos importantes animales dispersores de semillas?. Las respuestas a estas preguntas, se pueden encontrar sin que sea necesario un complejo análisis estadístico, y te ayudarán a decidir cómo mejorar las mezclas de especies y el diseño de plantación de futuras pruebas de campo, para maximizar las tasas de recuperación de la biodiversidad.

Una de las maneras más simples de abordar la pregunta de cómo se están pareciendo las parcelas de restauración al bosque-objetivo, es calculando un 'índice de semejanza'. El más simple de calcular es el Índice de Sorensen:

$$\frac{2C}{(PR + BO)}$$

... en el que PR = número total de especies registradas en las parcelas de restauración, BO = número total de especies registradas en el bosque-objetivo y C = número de especies comunes en ambos hábitats. Cuando todas las especies se encuentren en ambos hábitats, el valor del índice de Sorensen se convierte en 1, de modo que la recuperación de la biodiversidad, se puede representar por cuánto se va acercando el valor del índice a 1, a lo largo del tiempo. De modo similar, las parcelas de restauración se pueden comparar con las parcelas de CNP, con la expectativa de que el índice debería disminuir a lo largo del tiempo, a la vez que el bosque restaurado se vuelve menos semejante a las áreas abiertas y degradadas. En las parcelas de bosque recientemente restauradas, el índice sería lo más adecuado, para comparar las comunidades de plantas, aves o mamíferos.

Tabla 7.4. Ejemplo de cómo calcular un índice de semejanza.

	Parcelas de restauración	Bosque-objetivo
Especie A	Presente	Ausente
Especie B	Ausente	Presente
Especie C	Presente	Presente
Especie D	Presente	Presente
Especie E	Ausente	Presente
C	2	
PR	3	
BO	4	
Índice Sorensen	0.57	

El índice Sorensen utiliza solamente los datos presente/ausente y es fácil de calcular, pero ignora la abundancia relativa de la especie que se está registrando. Las más sofisticadas 'funciones de semejanza', que toman en cuenta la abundancia, están descritas por Ludwig y Reynolds (1988, **Capítulo 14**). Estos cálculos más complejos se pueden usar (por ejemplo, en análisis y ordenaciones de grupo) para clasificar las UM, dependiendo de lo similares o diferentes que sean entre ellos.

Este estudio fue parte de mi investigación de doctorado '*Ecología, conservación y bioactividad en las plantas alimenticias y medicinales en África Oriental*', que investigó la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas de especies de árboles medicinales, y probó la aplicabilidad del método de las especies 'framework' para la conservación de árboles



medicinales y el medio ambiente, en el distrito de Kaliro, Uganda. Siguió estudios etno-botánicos previos, para determinar las especies de plantas útiles, incluyendo las medicinales (Tabuti *et al.*, 2003, 2007).

Los curanderos locales tradicionales, identificaron cinco plantas medicinales leñosas, entre las más importantes pero difíciles de encontrar: *Capparis tomentosa*, *Securidaca longipedunculata*, *Gymnosporia senegalensis*, *Sarcocephalus latifolius* y *Psorospermum febrifugum*. En una inspección de campo, encontramos semillas de *C. tomentosa*, *S. longipedunculata* y *S. latifolius* y establecimos una parcela de prueba de siembra directa, pero este método no tuvo éxito.

Por ello decidimos experimentar en Noruega y logramos la germinación de semillas en la luz, y un rápido crecimiento de las plántulas de *Fleroya rubrostipulata* y *Sarcocephalus latifolius* (Stangeland *et al.*, 2007). También quisimos establecer nuevas parcelas de prueba en Uganda, pero necesitábamos encontrar métodos más efectivos. Dos de mis colegas que trabajaban en Tailandia, me contaron el método de las especies ‘framework’ que usan allí (FORRU, 2008; www.forru.org). Acepté la técnica y establecí un vivero, de acuerdo a las líneas guía de la FORRU en marzo del 2007. Algunas semillas fueron recolectadas del paisaje circundante, mientras que otras fueron adquiridas del Centro Nacional de Semillas de Árboles, que también proporcionó asesores para ayudar a establecer el vivero.

Establecimiento de parcelas de prueba

Aunque este estudio se centra en asegurar el suministro de plantas medicinales locales, se plantaron también otras especies de árboles útiles, algunas de ellas exóticas, para fomentar actitudes positivas hacia la plantación de árboles: en total se estudiaron 18 especies de árboles nativos y 9 especies exóticas (Stangeland *et al.*, 2011).

Los criterios para la selección fueron los siguientes: i) especies medicinales leñosas con alta demanda y/o que se han vuelto raras localmente; ii) otras especies útiles de árboles, cuya producción podría fomentar una actitud positiva entre los usuarios (por ejemplo, árboles frutales, maderables y para leña); y iii) especies de árboles que fijan nitrógeno, para mejorar el suelo y reducir el uso de fertilizantes. La selección de especies fue facilitada por estudios locales previos (Stangeland *et al.*, 2007; Tabuti, 2007; Tabuti *et al.*, 2009). Nuestro objetivo, era probar la aplicabilidad del enfoque del método de especies ‘framework’, estableciendo huertas de árboles de propósito múltiple que produjeran frutos que, de otra manera, se cosecharían en los bosques.

Tres grupos de curanderos tradicionales proporcionaron la tierra y cuidaron las plántulas, después de la plantación. Un curandero en cada grupo, estableció una huerta de árboles de propósito múltiple en su propia tierra. No se cosecharon los árboles durante el primer año, cuando monitoreamos el crecimiento, pero posteriormente, los curanderos tuvieron la libertad de cortar los árboles según su necesidad. Nosotros proporcionamos las plántulas, el dinero para arar y el material para cercos, mientras que el grupo de curanderos preparó la tierra en marzo del 2008, erigió los cercos, plantó



Rose Akelo muestra las plántulas a los visitantes, en la inauguración del vivero 04.08.2007 (Foto: T. Stangeland).



El personal del vivero y los curanderos tradicionales plantando plántulas, en marzo del 2008 (Foto: T. Stangeland).

las plántulas y desmalezó las parcelas tres veces, durante la primera estación de lluvia. Durante la primera estación de lluvia, después de plantar en abril del 2008, se plantaron frijoles entre las líneas de los árboles para proveer un beneficio a corto plazo, aumentar la motivación para desmalezar y mejorar la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno.

¿En qué medida funcionaron los métodos de la FORRU en Uganda?

La germinación excedió el 60% de alrededor de la mitad de las especies probadas (48%). Esto contrastó con los resultados en Tailandia, donde el 80% de las especies, tuvieron altas tasas de germinación (Elliott *et al.*, 2003). Las especies africanas de árboles pueden, por ello, tener menor éxito de germinación o una necesidad mayor de pre-tratamientos, que las especies asiáticas. Trece meses después de plantar, la supervivencia de las plántulas fue satisfactoria y comparable



Monitoreando la supervivencia y el crecimiento 13 meses después de plantar. Desde la izquierda, Patrick Nzalambi, Joseph Kalule, Alexander Mbiro, Torunn Stangeland y Lucy Wanone (Foto: T. Stangeland).

con los resultados de Tailandia (Elliott *et al.*, 2003). Casi dos tercios (63%) de las especies de árboles plantadas, lograron tasas de supervivencia de más del 70%, a pesar de una severa sequía en 2009. El crecimiento de la altura también fue bueno, con un tercio de las especies que lograron un crecimiento excelente (>160 cm de altura) y el 30% que logró un crecimiento aceptable (>100 cm de altura), 13 meses después de haber sido plantadas.

Once de las 27 especies de árboles probadas, se calificaron como 'excelentes' especies 'framework' (Stangeland *et al.*, 2011). Otras ocho especies se calificaron como 'aceptables'. Todas estas especies se pueden recomendar para la restauración y la plantación en huertas de propósitos múltiples. Ocho fueron clasificadas como 'marginamente aceptables'.

El potencial del método de especies 'framework' en África

Nuestra experiencia, sugiere que hay un potencial considerable para aplicar el enfoque de las especies 'framework' en África. La población humana en África Oriental, se ha más que triplicado en los últimos 40 años, con el resultado de una enorme presión en las tierras de cultivo. Más del 80% de la población, sigue usando leña o carbón para cocinar sus alimentos, una demanda que es satisficida en gran parte, por plantaciones de especies de árboles exóticas, mientras que los árboles nativos han disminuido y se han vuelto vulnerables a la extinción. Hemos encontrado el método de especies de árboles 'framework', práctico y económico. Los curanderos involucrados en nuestro trabajo, se han vuelto mucho más interesados en producir plántulas y plantar árboles. De hecho, cuando visitamos el sitio en marzo del 2011, encontramos que los dos grupos en Nawaikoke se habían fusionado y comprado tierra para hacer su propio vivero, basándose en la experiencia del proyecto.

Por Torunn Stangeland