Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

No. 64 Diciembre 2011

CATIE

Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

La revista Recursos Naturales y Ambiente es producida por el CATIE, Sede Central.

Comité Editorial Internacional

José Joaquín Campos
CATIE

Ronnie de Camino
CATIE

Glenn Galloway
CATIE

Anita Varsa
Course Coordinator National Board of Education, Finland

Manuel Guariguata
Scientist, Environmental Services and Sustainable Use of Forests Programme, CIFOR, Indonesia

David Kaimowitz
Program Officer Environment and Development, USA/Mexico

Florencia Montagnini
Universidad de Yale, USA

Gerardo Budowski
Universidad para la Paz, Costa Rica

Kenton Miller
World Resources Institute, USA

Comité Editorial Operativo CATIE

Róger Villalobos
Lorena Orozco
Dietmar Stoian
Francisco Jiménez
Fernando Carrera

Equipo de Producción

Róger Villalobos, Director
Lorena Orozco, Editora
Elizabeth Mora, Corrección de estilo
Claudia Rodríguez/Matilde Gómez, Indización
Rocío Jiménez, Diseño y diagramación
Biblioteca Conmemorativa Orton, Internet

Esta revista está indizada en la base de datos CABI

CATIE
Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

No. 64 Diciembre 2011

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.

Dr. José Joaquín Campos
Director General

- La Revista Recursos Naturales y Ambiente, continuación de la Revista Forestal Centroamericana, es una publicación cuatrimestral, con una perspectiva integral, biológica, social y económica del aprovechamiento y conservacón de los ecosistemas naturales y forestales, y del desarrollo rural.
- Nuestra Revista, que tiene un ámbito geográfico latinoamericano, espera servir como un foro donde se propongan y analicen modelos y experiencias de trabajo relevantes para los técnicos, productores y empresarios, para los gobiernos locales y para las autoridades estatales.

Los contenidos, ideas u opiniones expresadas en los artículos son responsabilidad de los autores; no reflejan necesariamente la opinión de los comités de la Revista Recursos Naturales y Ambiente ni del CATIE.

Se permite la reproducción parcial o total de la información aquí publicada, siempre y cuando se nombre la fuente, se remitan tres copias a la redacción y se utilice sin fines de lucro.

Sede Central CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica
Tel. (506) 2558 2300 Fax (506) 2558 2051 Dirección electrónica: lorozco@catie.ac.cr
www.catie.ac.cr

Revista Recursos Naturales y Ambiente No. 64 Diciembre 2011

Presentación.....4

Informe especial Proyecto CapFor

CapFor: Una experiencia exitosa de cooperación internacional entre CATIE y METLA
Gerardo Mery.....5

Evaluación de la rentabilidad de plantaciones forestales en América tropical
Anssi Ahtikoski, Justine Kent.....13

Conceptos básicos para la modelación del crecimiento forestal
Jari Hynynen.....22

¿Cómo generar modelos de índice de sitio?
Jenny Salgado.....28

Gestión de bases de datos forestales
Jenny Salgado.....33

Presentación

El Proyecto CapFor, *Capacity Building in Forest Management*, fue ejecutado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), con el apoyo del Instituto Finlandés de Investigación Forestal (METLA). Este proyecto se llevó a cabo desde principios del 2010 hasta fines del 2012. El proyecto buscó acentuar el manejo forestal sostenible y el mejor uso y coservación de los recursos forestales tropicales en América Central y El Caribe.

La idea de preparar este número de la revista Recursos Naturales y Ambiente se dio como producto de los talleres "Creación y gestión de bases de datos como apoyo a la gestión sostenible de los bosques en América Central" y "Modeling forest growth and profitability to support sustainable forest management in Central America".

En total se presentan cinco artículos cuyos autores formaron parte del proyecto CapFor y fueron instructores en los talleres. El primer artículo ofrece un recuento de las actividades desarrolladas por CapFor entre los años 2010 y 2012. Primeramente se describe la estructura, justificación y objetivos del proyecto, para luego describir el concepto y la metodología de creación de capacidades que se aplicó. Posteriormente se presentan las actividades desarrolladas en las tres áreas principales del proyecto y sus resultados específicos.

La segunda contribución presenta un protocolo para evaluar la rentabilidad de plantaciones forestales en América tropical. El protocolo considera la información necesaria para el análisis financiero; define las actividades relevantes, la inflación, la tasa de interés para el descuento, los criterios de inversión y finalmente, crea el sistema de cálculo final. El tercer artículo introduce, de manera general, algunos enfoques comunes y métodos aplicados en la modelación de la dinámica del rodal en bosques plantados y manejados para la producción de madera y biomasa. Además, describe un proceso simple para la creación de un sistema de predicción que ayude a la planificación del manejo forestal de la plantación.

En el cuarto artículo se presenta un modelo de índice de sitio a partir del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.F.). Para ello, se utilizaron datos de mediciones repetidas, provenientes de parcelas permanentes de muestreo (PPM) en plantaciones de teca establecidas en varias zonas de Guatemala. Se utilizaron los modelos lineales mixtos ajustando el modelo Schumacher, para analizar la relación de la altura dominante con la edad en plantaciones y crear curvas de índice de sitio para la especie. Finalmente, el quinto artículo describe la importancia de las bases de datos forestales y su buena gestión en la investigación de mediano y largo plazo.

Recursos Naturales y Ambiente/no. 64: 5-12

CapFor: Una experiencia exitosa de cooperación internacional entre CATIE y METLA

Gerardo Mery[1]

Resumen

Se presenta una descripción de las actividades desarrolladas por el proyecto CapFor entre el 2010-2012. El objetivo del proyecto fue reforzar las capacidades de investigadores del CATIE para desarrollar investigación aplicada a corto y largo plazo en tres líneas principales de intercambio de conocimientos: 1) modelación del crecimiento forestal y recomendaciones de manejo; 2) recolección y manejo de datos y 3) diseminación de conocimientos científicos. Las actividades principales llevadas a cabo corresponden a la modelación del crecimiento forestal y recomendaciones de manejo; recopilación y procedimientos para el manejo de datos y diseminación de conocimientos científicos y toma de decisiones. Los objetivos de la modelación del crecimiento forestal se lograron mediante la implementación de tres sesiones de creación de capacidades llevadas a cabo en METLA, Finlandia, dos sesiones de entrenamiento en CATIE, Costa Rica y una sesión en Guatemala y en un taller de modelación. En relación a la segunda línea, las actividades se definieron tres líneas de acción: creación y manejo de base de datos, aplicación de SIG para el uso sostenible de los bosques y compilación y validación puntual de estadísticas forestales. Finalmente, para la línea de diseminación de conocimientos se organizaron jornadas de creación de capacidades y de diseño y procedimientos para publicaciones científicas y técnicas.

Palabras clave: Manejo forestal sostenible; cooperación internacional; investigación aplicada; capacitación; diseminación de la información; modelación.

Abstract

CapFor: A successful experience in international cooperation between CATIE and METLA. Activities developed by the CapFor project between 2010 and 2012 are described. The objective of the project was to reinforce capacities of CATIE researchers to develop short- and long-term applied research along three principal lines of information exchange: 1) modeling of forest growth and management recommendations; 2) data collection and management and 3) dissemination of scientific knowledge. The main activities carried out correspond to forest-growth modeling and management recommendations; data collection and management; data compilation and management procedures, and scientific knowledge dissemination and decision making. The objectives of forest-growth modeling were achieved through three creative sessions held at METLA, Finland, two training sessions at CATIE, Costa Rica, and one session in Guatemala plus a modeling workshop. For the second line of activities, three actions lines were defined: database creation and management, application of GIS for sustainable use of forests and punctual validation of forest statistics. Finally, for the line of knowledge dissemination, sessions for creation of capacities and design and standards for scientific and technical publications were organized.

Keywords: Sustainable forest management; international cooperation; applied research; training; dissemination of information; modeling.

1 Instituto de Investigaciones Forestales de Finlandia. gerardo.mery@metla.fi

Introducción

El proyecto CapFor representó una actividad relevante de cooperación entre dos organizaciones que poseen un interés común por el desarrollo de estudios e investigaciones en ciencias forestales: el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) y METLA (Instituto de Investigaciones Forestales de Finlandia). Esta cooperación buscó que numerosos investigadores del CATIE desarrollaran nuevas capacidades en temas relacionados con el manejo forestal sostenible.

El proyecto se enmarcó en el concepto de cooperación establecido para los proyectos del ICI (Instrumento de Cooperación Internacional) del MFA (Ministerio de Relaciones Exteriores de Finlandia), el cual ha sido la principal fuente de financiamiento de esta iniciativa.

A continuación se ofrece un recuento de las actividades desarrolladas por CapFor entre los años 2010 y 2012. Primeramente se describe la estructura, justificación y objetivos del proyecto. En segundo lugar se describe el concepto y la metodología de creación de capacidades que se aplicó. Posteriormente se presentan las actividades desarrolladas en las tres áreas principales del proyecto y sus resultados específicos.

Estructura y objetivos de CapFor

CATIE y METLA cuentan con las bases para desarrollar una relación de cooperación científica estratégica basada en la confianza mutua y en la obtención de beneficios recíprocos. La sólida confianza recíproca se alcanzó con el proyecto especial WFSE (Bosques del mundo, sociedad y medio ambiente) de IUFRO (Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal), que ha sido decididamente apoyado por ambas organizaciones durante más de una década. A partir de las provechosas experiencias logradas con WFSE, METLA y CATIE firmaron un Memorando de Mutuo Acuerdo en el año 2008 para establecer una colaboración más permanente en diversos ámbitos de interés común. CapFor constituye un nuevo vínculo en el proceso de lograr una activa cooperación bilateral entre estas dos organizaciones.

El proyecto CapFor entró en operaciones a principios del año 2010 y sus actividades se llevaron a cabo hasta fines de 2012. En el año 2009 diferentes representantes de ambas organizaciones planificaron y acordaron los temas principales que comprendería el proyecto, sus prioridades, calendario de trabajo y participantes. Entre quienes desarrollaron un activo papel en esta planificación estuvieron Ronnie de Camino, Tania Ammour y Bryan Finegan, por parte del CATIE y Martti Varmola, Jari Varjo y Gerardo Mery, por parte del METLA. En reuniones de trabajo desarrolladas en Turrialba, Costa Rica y Vantaa, Finlandia, se elaboró una propuesta conjunta denominada *Documento del Proyecto CapFor* siguiendo el formato establecido por MFA para optar por un proyecto ICI. El *Documento del Proyecto CapFor,* que constituye la guía matriz de esta iniciativa, fue presentado a MFA en octubre de 2009. El Ministerio realizó una evaluación positiva de la propuesta conjunta CATIE-METLA y el proyecto fue oficialmente aprobado para su ejecución en enero de 2010.

La meta del proyecto fue acentuar el manejo forestal sostenible y el mejor uso y conservación de los recursos forestales tropicales en América Central y el Caribe. Para ello, se planteó como objetivo primordial reforzar las capacidades de investigadores del CATIE para desarrollar investigación aplicada a corto y largo plazo.

A partir de las necesidades de creación de capacidades identificadas por CATIE y el conocimiento experto adquirido por METLA tras décadas de investigaciones y estudios, se definieron tres líneas principales de intercambio de conocimientos:

- Modelación del crecimiento forestal y recomendaciones de manejo
- Recolección y manejo de datos
- Diseminación de conocimientos científicos

El proyecto fue dirigido por un Consejo de Directores conformado por dos funcionarios del CATIE y dos del METLA, el cual se reunió anualmente para definir el Plan de Trabajo Anual y evaluar las actividades efectuadas por CapFor en los años 2010, 2011 y 2012. Además, se designaron dos coordinadores (uno por cada institución), quienes participaron en las reuniones de Directorio como informantes y secretarios de los acuerdos tomados.

El concepto aplicado para la creación de capacidades

La relación funcional de trabajo requerida para cumplir con las tareas demandadas por CapFor en las tres líneas principales de colaboración del proyecto se plasmó por medio de acciones conjuntas desarrolladas por grupos compuestos por especialistas experimentados del METLA e investigadores especialistas del CATIE.

La mayor parte de las actividades de creación de capacidades se ejecutaron mediante redes de colaboración, con el objetivo de alcanzar las metas acordadas para cada área de resultados. Por medio de visitas recíprocas de expertos, se promovió el intercambio dinámico de conocimientos y experiencias en sesiones de trabajo conjunto, charlas, seminarios, talleres, exposiciones, intercambios por correo electrónico, comunicaciones periódicas, ejercicios y composición de documentos

en línea, entre otras. Se estableció un sitio Wiki[1] –con dirección en Internet que se adaptó para facilitar el intercambio de información sobre los temas mencionados y para compilar y documentar las actividades de creación de capacidades. Todos los participantes en CapFor, así como el personal interesado del CATIE y de sus organizaciones asociadas, tuvieron acceso directo al conjunto de documentos informativos.

La implementación de las actividades de creación de capacidades se basó en una metodología orientada a la obtención de resultados específicos en cada área de resultados descrita en el Documento del Proyecto. El método de creación de capacidades también prestó atención a consideraciones de temas trasversales, tales como la reducción de la pobreza, comunidades indígenas, género y protección medioambiental.

Para la formación de capacidades del personal experto del CATIE se tomó en consideración los efectos colaterales indirectos, como un factor multiplicador de los intercambios desarrollados en CapFor. Entre ellos, la utilización del material producido por el proyecto en las actividades pedagógicas impartidas a los estudiantes de educación superior del CATIE, o en seminarios y discusiones sostenidas en eventos regionales.

Actividades principales

Para la implementación del proyecto CapFor se definieron tres objetivos temáticos esenciales; cada uno de ellos se subdividió en áreas concretas de resultados (Figura 1).

Figura 1. Actividades impulsadas por CapFor para la formación de capacidades

Modelación del crecimiento forestal y recomendaciones de manejo

Los objetivos establecidos para la creación de capacidades en los temas de modelación y rentabilidad fueron:

- Evaluar una serie de modelos existentes que han sido implementados por ambas organizaciones, tales como Silvia, Minga, Sirena, Gavilán, Mira, Motti, Co_2Fix, MiraSilv.
- Entrenar al personal designado por CATIE y a estudiantes de posgrado en la aplicación de estos modelos, con el apoyo de dos consultores expertos en los modelos seleccionados.
- Efectuar recomendaciones sobre los objetivos, procedimientos e interpretación de los resultados obtenidos con los modelos.
- Organizar un taller de modelación para el personal de las organizaciones estratégicas asociadas a CATIE en la región.
- Incorporar el conocimiento adquirido en cursos de postgrado del CATIE.

Los objetivos se lograron mediante la implementación de tres sesiones de creación de capacidades en METLA (Finlandia), dos sesiones de entrenamiento en CATIE (Costa Rica), una sesión organizada en Guatemala y en el taller de modelación. Para cumplir con los objetivos, se definieron tres líneas de acción principales para la creación de capacidades relativas a modelación del crecimiento forestal y recomendaciones de manejo:

- Diseño y validación de modelos de crecimiento y rendimiento de rodales forestales
- Desarrollo de herramientas para la estimación de productos de la cosecha forestal
- Análisis de la rentabilidad forestal

Línea de creación de capacidades en el diseño y validación de modelos de crecimiento y rendimiento de rodales forestales y desarrollo de herramientas para la estimación de productos de la cosecha forestal

Año 2010

En septiembre, dos investigadores del CATIE participaron en sesiones de entrenamiento durante dos semanas con expertos del METLA, con el fin de identificar, describir, validar e iniciar la evaluación de los principales

1 Un sitio Wiki, es un sitio web cuyas páginas pueden ser editadas por múltiples voluntarios a través del navegador web. Los usuarios pueden crear, modificar o borrar un mismo texto que comparten. http://es.wikipedia.org/wiki/Wiki

modelos de crecimiento y rendimiento aplicados en ambas organizaciones. Al mismo tiempo se analizaron los requerimientos de los usuarios en la región, se impartió una charla a los estudiantes de postgrado del CATIE y se estableció un cronograma de actividades para los tres años del proyecto. El proceso se continuó en octubre del mismo año en Finlandia (Vantaa y Rovaniemi) con la participación de dos investigadores del CATIE y varios expertos del METLA que ofrecieron el entrenamiento.

Año 2011

En septiembre se desarrollaron actividades de creación de capacidades en modelación en Guatemala y Costa Rica. En Guatemala se abordó el tema sobre la información relativa a bosques naturales de coníferas y manejo de plantaciones y se discutió en detalle el potencial y las limitaciones del programa Silvia como sistema de toma de decisiones. En estas actividades se contó con la participación de dos expertos del CATIE y tres del METLA. Además se desarrollaron encuentros y discusiones con expertos locales, el coordinador CATIE de CapFor y de los consultores contratados. En total, en estas consultas –que incluyeron un taller participaron 14 expertos. Las discusiones sobre el uso de modelos para la toma de decisiones continuaron en Turrialba, donde se revisó y definió el programa de trabajo para el resto del proyecto.

En noviembre, una investigadora del CATIE visitó METLA con el fin de diseñar y desarrollar modelos de índices de sitio para plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en América Central; adicionalmente, se esbozó el plan preliminar del contenido del Taller a realizarse en 2012 con las tareas requeridas para su preparación.

Año 2012

En junio, en una nueva visita de la investigadora del CATIE al METLA se tuvieron sesiones técnicas de trabajo y ejercicios enfocados en el desarrollo de índices de sitio usando datos de parcelas permanentes de teca de Guatemala. Adicionalmente, se revisaron diversas metodologías para establecer modelos de efectos mixtos y uso de R; se especificaron ejercicios para el taller de modelación a efectuarse en septiembre de 2012 y se preparó material requerido para dicho Taller.

El taller de modelación se llevó a cabo entre el 5 y 7 de septiembre de 2012 en la sede central del CATIE en Turrialba. Este fue un evento de alta significación, ya que consolidó muchos de los temas teóricos y prácticos tratados en modelación y permitió transmitir el conocimiento experto de modelos de crecimiento y rendimiento forestal a un grupo de 21 profesionales e investigadores forestales de la región centroamericana. Antes del Taller, se distribuyó a cada participante el material teórico y práctico (en idioma español).

Línea de creación de capacidades en rentabilidad forestal

Las actividades de creación de capacidades sobre rentabilidad forestal se llevaron a cabo durante el 2011 y 2012.

Año 2011

En el primer semestre de 2011, otra investigadora del CATIE visitó la sede de Rovaniemi del METLA para trabajar el tema de rentabilidad de plantaciones forestales en Centroamérica. La interacción con otros investigadores del METLA ayudó a enriquecer la experiencia. Los colaboradores establecieron un plan de trabajo y dedicaron tiempo para discutir y revisar numerosas publicaciones recientes sobre rentabilidad de plantaciones forestales y otra literatura esencial en este tema; además, confeccionaron una hoja de cálculo adaptada para aplicaciones en el proyecto CapFor.

Entre el 1 y 11 de septiembre, tres expertos del METLA visitaron la sede del CATIE en Turrialba y acciones del CATIE en Guatemala. En este país, se obtuvo información sobre los modelos de crecimiento, rendimiento y rentabilidad comúnmente usados en América Central en particular, se evaluó el uso del sistema de manejo forestal Silvia versión 3 y también se obtuvo información sobre plantaciones forestales en la región. Se visitó la finca La Sierra para evaluar rodales forestales de diferentes edades bajo diferentes sistemas de manejo: plantaciones puras de *Alnus* spp. bosque natural de coníferas y el sistema taungya (maíz con pino, pino con arveja, roble con maíz). Además, se realizó un taller de discusión en el cual participaron 14 profesionales forestales.

En Turrialba se discutió sobre la aplicación de Silvia como herramienta para la toma de decisiones y se discutió su potencial para hacer proyecciones y evaluar escenarios. También se elaboró un plan detallado de las actividades a efectuarse en 2012, en especial durante el taller de modelación. Finalmente, uno de los expertos del METLA ofreció una charla a los estudiantes de postgrado del CATIE sobre la aplicación de modelos de rentabilidad en Finlandia, con especial énfasis en la presentación del simulador de rodal Motti.

Año 2012

Las sesiones de discusiones técnicas y ejercicios se desarrollaron en Finlandia en los meses de junio y julio en las estaciones del METLA en Vantaa, Rovaniemi y Oulu. En esta parte del proceso se contó con la participación de una investigadora del CATIE y varios expertos del METLA. En Vantaa se dieron sesiones de trabajo y discusión en cuanto al taller de modelación, recreación, programa Metso de protección de la biodiversidad y sector forestal en Finlandia.

En Rovaniemi se trabajó en diversos temas relacionados con la rentabilidad forestal y organización de datos para la aplicación de un modelo de rentabilidad (en Excel) desarrollado en forma conjunta. También hubo sesiones de trabajo para analizar modelos de crecimiento y rendimiento relevantes para los estudios de rentabilidad de plantaciones de caoba en Costa Rica y teca en Guatemala. Mediante tele-conferencia se revisaron los resultados de la aplicación del Modelo Minga para caoba en América Central.

En Oulu se trabajó en la incorporación del concepto de inflación al modelo financiero y se efectuaron los ajustes correspondientes. También se incorporó el análisis de sensibilidad a dicho modelo. Finalmente, se definió el programa detallado para el taller de modelación a efectuarse en septiembre de 2012.

El taller de modelación contó con la participación de 21 personas, y se enfocó en consideraciones económicas y aspectos prácticos para el desarrollo de análisis financieros en plantaciones forestales.

Charla ofrecida durante el taller de modelación

Recopilación y procedimientos para el manejo de datos

En este tema se consideraron los aspectos siguientes:

- Mejoramiento y actualización de conocimientos y capacidades del personal experto del CATIE en la recopilación de datos, diseño de bases de datos apropiadas, utilización de sistemas de información geográfica (SIG) para el uso sostenible de los recursos forestales y compilación y validación de estadísticas forestales.
- Creación de capacidades para el diseño y manejo de bases de datos de conservación de bosques, producción de productos madereros y sistemas agroforestales.
- Creación de capacidades en el uso de SIG para la investigación sobre los impactos de las acciones humanas en bosques naturales, plantaciones forestales y evaluación de recursos naturales.
- Creación de capacidades para la compilación y validación de estadísticas forestales.
- Incorporación de estos conocimientos en cursos de postgrado del CATIE.

Para la creación de capacidades relacionadas con este segundo tema de CapFor, se definieron tres líneas de acción.

Línea de creación y manejo de bases de datos

Año 2010

Las actividades de entrenamiento en este tema se realizaron durante agosto y septiembre en Finlandia y durante septiembre y octubre en Costa Rica.

Se discutió la necesidad de usar un software único para el manejo de bases de datos, el cual incorporara la información de investigación científica realizada por diferentes proyectos del CATIE. Se decidió trabajar en un ambiente SQL (Structured Query Language) con el software MySQL. Posteriormente, se inició el trabajo práctico con la creación de una base de datos en SQL a la que se incorporó la información compilada a partir de nueve bases de datos (incluyendo diversas variables de 41.433 árboles, previamente compiladas en VisualFoxPro) correspondientes a nueve sitios de estudio del CATIE donde se han establecido parcelas permanentes. Se discutió sobre el diseño apropiado de una base de datos relacional que pueda servir a propósitos múltiples bajo el concepto general de un modelo de datos (reglas de normalización y armonización). Se trató el tema de la verificación de la consistencia de los datos incorporados a la nueva base creada en SQL y los pases requeridos para la transferencia de datos CSV a la nueva base. También se trabajó con consultas de SQL para el análisis estadístico posterior y para la integración de datos provenientes de encuestas distribuidas por internet.

Año 2011

Entre junio y agosto se efectuaron actividades de entrenamiento en esta línea de creación de capacidades, durante las visitas de expertos a la sede del METLA y luego al CATIE. El trabajo se basó en la información sobre las diferentes especies y sus características funcionales, obtenidas de estudios realizados por la Cátedra de ecología del CATIE. Se aplicó un programa secuencial de trabajo que constó de ocho etapas, el cual considera un nuevo enfoque que facilita el acceso a todos los datos en la base de datos. Esto permite una fácil descarga de los datos de los experimentos para su posterior manipulación y análisis con diferentes herramientas. A continuación se listan los pasos para el programa secuencial:

1. Revisión de la estructura actual de las tablas (utilizando los datos de la Cátedra de ecología del CATIE) y el diseño de la base de datos en SQL.
2. Consultas con expertos y revisión de informes (por ejemplo, sobre el área basal por hectárea).
3. Reuniones y discusiones con personal involucrado en el manejo de bases de datos en el CATIE y análisis con la visión general del programa ”Maapuu” de base de datos. Se discutió con ocho investigadores del CATIE sobre este tema.
4. Instalación del servidor de base de datos MySQL y mesa de trabajo en los equipos de usuarios finales.
5. Instalación del servidor en línea en el servidor de base de datos para los usuarios finales.
6. Implementación del control de acceso a bases de datos en el servidor.
7. Examen de la estructura actual de la base de datos del INAB

(Instituto Nacional Forestal Guatemala). En el desarrollo de esta tarea se contó con la activa participación de un experto del INAB.

8. Confección de un plan de trabajo para los pasos futuros a desarrollar en el 2012.

Año 2012

Entre mayo y junio se trabajó en la depuración de los datos aportados por diversos proyectos del CATIE, así como la revisión y perfeccionamiento de la base de datos. Se introdujeron claves externas y se normalizaron las tablas con el fin de prevenir la introducción de datos erróneos en la base de datos. También se trató la aplicación de correcciones y se desarrolló un protocolo para actualizar la base de datos de la Cátedra de ecología del CATIE. Se definió el procedimiento para la introducción de nuevas mediciones y el protocolo para la inserción de nuevos datos.

Después del Taller se concluyó el trabajo con el establecimiento de una plataforma única para el acceso y la gestión de datos en el CATIE. Se definió que el lenguaje de administración de la base de datos debe ser MySQL y MySQL Workbench 5.2, la interfaz para gestionar y hacer consultas a la base de datos; esta compatibilidad permite la creación y manejo de las bases de datos desde una misma plataforma. Asimismo se planteó la necesidad de que el CATIE defina responsables de las operaciones diarias (copia de seguridad, disponibilidad, recuperación, uso de herramientas) relacionadas con la base de datos.

Del 10 al 12 de septiembre se realizó el taller "Creación y gestión de bases de datos como apoyo a la gestión sostenible de los bosques en América Central". El objetivo fue entregar a los participantes los conocimientos básicos de este enfoque novedoso para la región y alentar a los asistentes al estudio posterior de este tema para poder usarlo en sus labores cotidianas. También se instó a la creación de redes interregionales de colaboración.

Línea de aplicación de SIG para el uso sostenible de los bosques

Año 2010

En septiembre (en CATIE) y noviembre (en Rovaniemi y Vantaa) se desarrollaron las actividades de entrenamiento en esta línea de creación de capacidades. Por el CATIE participaron investigadores involucrados en aplicaciones SIG en cambio climático, así como el director del laboratorio SIG. Se acordó la conveniencia de desarrollar un proyecto piloto para demostrar la utilidad de una infraestructura organizada de datos geográficos en el CATIE (compartir, difundir, normas, protocolos). Se decidió desarrollar aplicaciones SIG para balance hídrico, mediciones de carbono, teledetección e inventarios forestales, identificación de diferentes tipos de bosques tropicales, cambio de uso de la tierra, cambios de vegetación inducidos por el cambio climático, monitoreo forestal, infraestructura de base de datos, operaciones de manejo forestal. También se revisaron los medios y equipos disponibles en el CATIE para la aplicación y desarrollo de tecnologías SIG y SR (sensores remotos) y se discutieron criterios por la adquisición de *software* y *hardware* requerido. Con el fin de ampliar la cobertura de público interesado, se impartió una conferencia sobre aplicaciones SIG desarrolladas en METLA para investigadores y estudiantes del CATIE.

Durante la sesión de trabajo en noviembre se discutió sobre el uso de los SIG y la organización de bases de datos de SIG en METLA, así como sobre las aplicaciones de teledetección en los estudios del ecosistema del bosque boreal. También se trataron otros tópicos de interés, como el Inventario Forestal Nacional de Finlandia (IFN), trabajo de campo y cálculo de los resultados; experiencias desarrolladas en METLA para usar fuentes múltiples de información, aplicaciones de detección remota y métodos aplicados en el procesamiento de datos; aplicaciones de la tele-observación en el IFN; experiencias de determinación de gases de efecto invernadero en Finlandia; el proyecto Cambio Climático - Adaptación y Mitigación Terrestre en Europa, y cálculos de balance de carbono en Finlandia.

Año 2011

En noviembre se dio la visita de un investigador del CATIE al METLA con el objetivo de discutir con expertos locales sobre el IFN, su historia y el sistema de fuentes múltiples de información, así como recopilación de datos y detección de cambios en el uso del suelo y cobertura mediante el uso de imágenes Landsat e IRS. Las reuniones se centraron también en consideraciones del IFN, su planificación, la estructura de datos, formularios, tablas de datos, los formatos de rutinas BD, QA/QC y otras que deben tenerse en cuenta a la hora de iniciar el trabajo de campo. Se concluyó que el IFN proporciona información útil para la planificación de los recursos naturales y su manejo. También se discutió si el IFN debiera integrar al sector agrícola.

Entre noviembre y diciembre, un experto del METLA devolvió la visita para discutir con colegas del CATIE sobre los inventarios multipropósitos, la recopilación de datos y los métodos que guían el IFN de Finlandia. También proporcionó información sobre la aplicación y utilidad del IFN para el manejo ambiental de los bosques, para la toma de decisiones de planificación de la industria forestal finlandesa y el envío de información confiable para diversos acuerdos y programas forestales internacionales.

Las experiencias del IFN fueron compartidas con un grupo diverso

de personas, incluyendo investigadores de alto nivel, estudiantes de postgrado del CATIE y representantes de los gobiernos de Costa Rica y varios otros países de Centro y Sudamérica. La visita permitió cubrir una amplia gama de actividades: participación en un taller sobre los procesos de IFN en Guatemala, Ecuador y Costa Rica; reuniones de trabajo con investigadores de la Universidad y CENAT (Centro Nacional de Tecnología); gira de campo en el marco de la Conferencia internacional de teca, donde se intercambió información sobre parcelas permanentes de muestreo en bosques tropicales (teca y melina) y métodos de cuantificación de carbono; participación en una reunión de GIZ/CATIE Programa Regional REDD+ MRV sobre la creación de capacidades para el monitoreo forestal.

Año 2012

En octubre, un experto del CATIE visitó la sede del METLA en Vantaa, con el fin de desarrollar pruebas de métodos de clasificación para sitios del Trifinio (área ubicada en el límite entre El Salvador, Guatemala y Honduras) por medio de imágenes RapidEye. A partir de las clasificaciones de MS-IFN de Finlandia, se trabajó intensamente con el *software*, datos e imágenes para aplicarlos a la clasificación de cobertura de la tierra en el Trifinio. Entre el 14 y 26 de octubre, el experto del CATIE y su contraparte del METLA hicieron una visita de campo con el fin de valorar sitios característicos del paisaje del Trifinio, definir puntos de control de campo y discutir la metodología empleada con los especialistas, así como la discriminación de los diferentes usos y coberturas del suelo. Esta gira de campo fue parte de las acciones para la elaboración del mapa de uso del suelo en el Trifinio, patrocinado por el proyecto CATIE-Finnfor. Los lugares visitados fueron la microcuenca El Gigante, el volcán de Ipala, lago de Guija, San Ignacio y La Palma, y el Parque Nacional Las Pilas en El Salvador; estos sitios contienen diferentes tipos de vegetación y bosques.

Durante la gira de campo se sostuvieron reuniones con personal de organizaciones que trabajan en el área (KFW, GIZ, Finnfor y el Parque Nacional Montecristo), para discutir el avance en el mapa de clasificación de coberturas.

Línea de compilación y validación puntual de estadísticas forestales

Año 2010

El trabajo en esta línea se inició en 2010 y concluyó en 2011. En el mes de noviembre, de manera colaborativa se definió el programa para esta línea de entrenamiento. El objetivo principal era fortalecer la comunicación entre los responsables de la toma de decisiones relacionadas con los bosques a diferentes niveles y mejorar y actualizar los procedimientos de difusión de publicaciones científicas en el CATIE.

Con base en la larga y exitosa experiencia del METLA en el manejo e investigación relacionada con estadísticas forestales, se planteó la oferta de asesoramiento a CATIE y a sus socios claves en la región sobre la metodología y procedimientos para la recolección, validación, procesamiento y análisis de datos estadísticos, incluyendo la creación y gestión de bases de datos y la posterior diseminación de los resultados obtenidos. Asimismo, el experto visitante ofreció una conferencia científica a la comunidad académica y estudiantil del CATIE sobre el manejo y diseminación de estadísticas forestales y su importancia para la planificación y toma de decisiones para el uso y conservación sostenible de los recursos forestales.

En colaboración con el proyecto Finnfor se realizó un taller sobre las principales organizaciones encargadas de las estadísticas forestales en Costa Rica, Guatemala, Nicaragua y Panamá. En el Taller participaron 13 profesionales forestales de los cuatro países mencionados.

Año 2011

El intercambio de ideas iniciado el año anterior continuó en septiembre, esta vez en la sede del METLA. Los temas trabajados fueron los siguientes:

- Definición de metodologías y normas para la obtención de información objetiva, responsable, eficaz, precisa y confiable.
- Logro de acuerdos entre los diversos actores del sector forestal para compartir información fiable, así como las posibles restricciones o consideraciones para su difusión pública.
- Aspectos metodológicos, tales como las herramientas para la recopilación de información, frecuencia y términos que garanticen la utilidad para la toma de decisiones.
- Sistemas utilizados para la difusión de la información procesada, en particular a los mercados de productos madereros y a los grupos de interesados, incluidos los productores.

Junto con otros investigadores del METLA se trataron temas relacionados con inventarios forestales nacionales, mejoramiento genético de árboles forestales y obtención de productos no madereros. También se visitaron organizaciones externas, tales como Statistics Finland (para tratar sobre cuentas económicas integradas y ambientales de los bosques), MTK (Asociación de Productores Madereros), con quienes se discutió sobre su organización y los mercados de la madera en rollo, y la Estación de Investigación Haapastensyrjä para recibir información más detallada sobre las experiencias de mejoramiento de árboles forestales en Finlandia; además se visitó un sitio de cosecha altamente mecaniza en el área de operaciones de Loppi.

Por su parte, el experto visitante ofreció una conferencia sobre ”Productos forestales no madereros en la silvicultura tropical” a los investigadores del METLA en Vantaa.

Diseminación de conocimientos científicos y toma de decisiones

El objetivo principal de esta línea fue fortalecer la comunicación entre los responsables de la toma de decisión relacionada con los bosques a diferente nivel y mejorar y actualizar los procedimientos de difusión de publicaciones científicas en el CATIE. Para cumplir este objetivo se consideraron las siguientes líneas.

Línea de implementación de la academia forestal para tomadores de decisiones

En 2011, CapFor organizó jornadas de creación de capacidades en este ámbito conjuntamente con la Asociación Forestal de Finlandia. El tema se centró en las experiencias desarrolladas en este país en la creación del concepto, desarrollo metodológico y funcionamiento práctico de la “Academia Forestal para la toma de decisiones”. El entrenamiento se efectuó durante cuatro días comprendidos entre el 15 y 18 de marzo durante los cuales se discutieron los siguientes temas principales:

- El concepto de ‘academia forestal’
- Planificación e implementación de un foro: paso por paso
- Planificación y ejecución de un foro: materiales, infraestructura requerida, publicaciones y procesos de apoyo
- Grupo de trabajo técnico

En una segunda etapa, se realizaron diversas actividades en CATIE para explicar el concepto de Academia Forestal desarrollado en Finlandia y valorar su posible aplicación en la región centroamericana. Uno de los primeros pasos fue adaptar el concepto a la realidad de la región; incluso se le dio una denominación distinta, pues en Centroamérica resulta más útil su aplicación a nivel territorial. Sin embargo, en todas las actividades, intervenciones y documentos se ha respetado el nombre original con la explicación que se trata de un diálogo social inspirado en la escuela y metodología desarrollada en Finlandia.

Las actividades emprendidas fueron las siguientes:

- Divulgación del concepto de ‘academia forestal’ a diversos niveles en CATIE (Cátedra de Gestión Forestal Territorial, Oficina de Comunicación e Incidencia, coordinadores nacionales del proyecto Finnfor) y socios en Costa Rica y Guatemala (donde se piensa validar el concepto). También se ha dado conocer en los otros países de la región en donde trabaja Finnfor: Belice, El Salvador, Honduras y Panamá.
- Traducción al español y revisión técnica detallada del material usado en Finlandia.
- Realización de un curso interno en CATIE (7 y 8 de agosto) para capacitadores de nivel profesional. Se contó con la participación de profesionales del Bosque Modelo Chorotega y personas vinculadas con la experiencia de bosques modelo. Para esta plataforma (14 países y 28 bosques modelo), es de gran importancia el diálogo forestal como mecanismo de cambio de la cultura forestal. El concepto de ‘academia forestal’ y la metodología desarrollada se han dado a conocer al Comité Técnico de Bosques de la CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo) y a los directores forestales de los siete países centroamericanos.
- En el Bosque Modelo Chorotega ya se utiliza la herramienta para la preparación de un material con ejemplos adaptados a la realidad concreta de la Península de Nicoya, Costa Rica.
- Elaboración de dos documentos introductorios para explicar y promocionar esta iniciativa: la Guía *“Diálogo permanente bosques-sociedad”* y una presentación en *PowerPoint* que, junto con el manual traducido de la Academia Forestal, servirán para organizar otros diálogos forestales.

Los materiales mencionados se han usado en actividades de capacitación y han permitido adaptar una metodología que continuará vigente en el futuro, tal y como se señala en el documento del proyecto Finnfor II (responsable de la implementación de esta iniciativa).

Línea de diseño y procedimientos para publicaciones científicas y técnicas

El trabajo en esta línea de entrenamiento se llevó a cabo en diciembre del 2010, con la participación de una experta en comunicaciones del CATIE y su contraparte en METLA.

METLA produce numerosas publicaciones científicas sobre resultados de investigación en sus propias series, así como en revistas científicas, informes anuales y en una serie publicada conjuntamente con la Sociedad Científica Forestal de Finlandia llama Sylva Fennica. En reuniones con personal del METLA, la experta del CATIE se informó sobre el proceso de producción de publicaciones científicas, la importancia de la difusión de dichas publicaciones y el papel de la página del METLA en internet para la diseminación de resultados de investigación, pues este es un mecanismo de fácil acceso para muchísimas personas y tiene un costo reducido.

Una actividad importante fue el encuentro con el Jefe de Comunicaciones del METLA y dos oficiales expertas en este tema: la Oficial Regional de Información y la Oficial de Comunicaciones. Después de discutir sobre las experiencias de comunicación en CATIE y METLA, los especialistas concluyeron que ambas instituciones enfrentan problemas similares en esta área.

Recursos Naturales y Ambiente/no. 64: 13-21

Evaluación de la rentabilidad de plantaciones forestales en América tropical

Anssi Ahtikoski[1], Justine Kent[2]

Resumen

Se presenta un protocolo para evaluar la rentabilidad de plantaciones forestales en América tropical, considerando un ejemplo hipotético basado en dos artículos publicados que son un buen ejemplo de cómo estructurar un análisis financiero para plantaciones forestales. Del estudio de Griess y Knoke (2011) se consideró información sobre la preparación del sitio y costos de siembra (año 0), costos de gestión y materiales (años 1, 2, 3, 4 y 5) y los costos de gestión anual y materiales (años 6-25). Del estudio Bermejo *et al.* (2004), se consideró el crecimiento subyacente y los resultados de rendimiento. El protocolo considera la información necesaria para el análisis financiero; define las actividades relevantes, la inflación, la tasa de interés para el descuento, los criterios de inversión y finalmente, crea el sistema de cálculo final.

Palabras claves: Plantación forestal; rentabilidad; análisis económico; análisis de costos y beneficios; cálculo; tratados; América tropical.

Abstract

Evaluation of the profitability of forest plantations in tropical America. A protocol for evaluating the profitability of forest plantations in tropical America is presented. A hypothetical case is put forward based on two published articles that provide a good example of how to structure a financial analysis of forest plantations. From the study by Griess and Knoke (2011), information deals with site preparation and planting costs (year 0), costs of management and materials (years 1, 2, 3, 4 and 5) and costs of annual managment and materials (years 6-25). From the study by Bermejo *et al.* (2004), underlying growth and yield results are considered. The protocol considers the information necessary for financial analysis; defines relevant activities, inflation, discount rate and investment criteria, and finally creates the final calculation system.

Keywords: Forest plantation; profitability; economic analysis; cost benefit analysis; calculation; treaties; tropical America.

1 Economista forestal. Instituto de Investigaciones Forestales de Finlandia. anssi.ahtikoski@metla.fi
2 Economista forestal. Proyecto CATIE - Finnfor. kjustine@catie.ac.cr

Introducción

Las áreas dedicadas a plantaciones forestales en regiones tropicales de América Latina crecieron de 6 millones de hectáreas en 1995 a 8,8 millones de hectáreas en 2005, con una tasa de crecimiento promedio anual del 4,3% (STCP 2009). El incremento en la superficie dedicada a esta actividad refleja una demanda constante por madera tropical para energía, pulpa y madera. Las plantaciones forestales en América Latina se componen principalmente de eucaliptos y pinos, y en menor medida, de teca y melina, seguidas por especies nativas latifoliadas (STCP 2009). Los inversionistas en plantaciones forestales varían desde productores en pequeña escala (≤ 1 ha), hasta corporaciones con cientos o miles de hectáreas bajo su administración.

A pesar del aumento en el manejo forestal productivo de la región, todavía es poca la información publicada sobre la rentabilidad de plantaciones forestales. Algunos estudios de caso realizados por estudiantes de pregrado y postgrado en la región, y algunos estudios que resumen las proyecciones en la región, afirman que las inversiones forestales son rentables (Cubbage *et ál.* 2007). Sin embargo, la calidad del análisis financiero aplicado para determinar la rentabilidad en estos estudios varía ampliamente con la disponibilidad de los datos, las metodologías utilizadas y la interpretación de los resultados. Dado que la decisión final sobre la conveniencia de establecer una plantación o no se basa al menos parcialmente en los análisis financieros, existe un argumento sólido para la construcción de un procedimiento claro y directo para la ejecución del análisis financiero en plantaciones forestales. Este trabajo ofrece un protocolo conciso para realizar el análisis financiero de bosques plantados en América Tropical.

Información necesaria para el análisis financiero

Con el fin de contar con una base sólida para la realización de un análisis financiero adecuado de una plantación forestal, primero se deben resolver varios aspectos; entre ellos:

1. Las actividades silviculturales planificadas/ejecutadas, su tiempo (en años) y los costos asociados y el valor de los ingresos ($).
2. Un medio para asegurar que los costos e ingresos futuros sean considerados en una forma en la cual se tome en cuenta el valor temporal del dinero (es decir, el descuento).
3. Un método que garantice que se trata de valores reales (no nominales), lo cual es un medio para tener en cuenta la inflación.
4. Una tasa de interés que refleje el valor temporal del dinero.
5. Un criterio de inversión que permita comparar diferentes regímenes de gestión (valor presente neto, tasa interna de retorno, relación beneficio/costo).

Definición de actividades relevantes

Un buen punto de partida para un análisis financiero es definir las actividades pertinentes necesarias para establecer una plantación forestal exitosa. Para cada actividad (ver ejemplos en el Cuadro 1), existen una serie de gastos como mano de obra, insumos (herbicidas, fertilizantes, gas y petróleo); inversiones en vehículos, maquinaria y herramientas y servicios técnicos y administrativos. Los gastos deben ser explícitamente detallados y estar disponibles sobre una base unitaria de análisis. Muchos de los análisis financieros revisados en la literatura no detallan los datos de costos incluidos en los análisis, lo que dificulta la evaluación de la rentabilidad de un proyecto forestal en particular. Una vez que el costo ha sido definido y categorizado es importante determinar cuándo se producirá.

La Figura 1 ilustra cómo pueden definirse diferentes actividades y la forma en que se producen a lo largo del tiempo. La línea vertical punteada representa la diferencia entre los costos y los ingresos. En la mayoría de los casos, los ingresos ocurren mucho tiempo después de los costos iniciales (p.e., costos de establecimiento). En los análisis financieros, los costos siempre indican valores negativos (-), mientras que los ingresos son valores positivos (+).

Para determinar los ingresos, es importante disponer de información sobre los resultados de crecimiento y rendimiento de las especies y las características de sitio dadas. Además de los datos de productividad, es necesario determinar los tipos de productos y servicios que serán vendidos (leña, troncos, madera aserrada, servicios ambientales...), e identificar las dimensiones esperadas y la calidad, con el fin de estimar mejor los precios exactos. El punto de venta (en finca, en aserradero, en puerto local, o en puerto del consumidor) influye también en los precios y costos. En América Latina no se cuenta con colecciones sistemáticas de precios de la madera de plantaciones forestales para diferentes especies y en diferentes condiciones de mercado. Normalmente, los datos se generalizan (medias) y no se distinguen los precios por tipo de producto, dimensión o calidad. Además, la información existente por lo general no incluye las ecuaciones de volumen utilizadas para determinar los precios o el punto de venta definido. La información secundaria debe reflejar los detalles sobre los precios a fin de garantizar su adecuada extrapolación cuando se utiliza en análisis financieros. Estas limitaciones hacen más complicado determinar con precisión la rentabilidad cuando se proyectan datos a lo largo de un tiempo dado.

Cuadro 1. Descripción de los tipos de costos por actividad para el análisis de rentabilidad de plantaciones forestales en América tropical

Establecimiento	Mantenimiento / Administración	Raleos / cosecha final	Comercialización	Administración
• Valor de la tierra (compra o alquiler) • Construcción de caminos • Infraestructura • Preparación del terreno: aclareo, deshierbe, riego, ahoyado • Costos de plantas de semillero o vivero • Fertilización • Servicios profesionales (ingenieros forestales, abogados, contadores) • Siembra, fertilización	• Deshierbe • Manejo de plagas • Control de incendios • Podas	• Raleos pre-comerciales y costos de cosecha (tala, arrastre, transporte)	• Estudios de mercado (desde el principio y durante todo la rotación del proyecto) • Búsqueda de compradores (viajes, reuniones, cuotas de asociación) • Impuestos • Costos de transporte hasta el punto de venta (aserradero o puerto)	• Costos relacionados con el manejo de la plantación, personal administrativo, guardias • Costos financieros de préstamos o créditos • Gastos de certificación • Servicios como teléfono, internet, electricidad • Impuestos • Costos de transacciones legales • Gastos de incidentes o inesperados

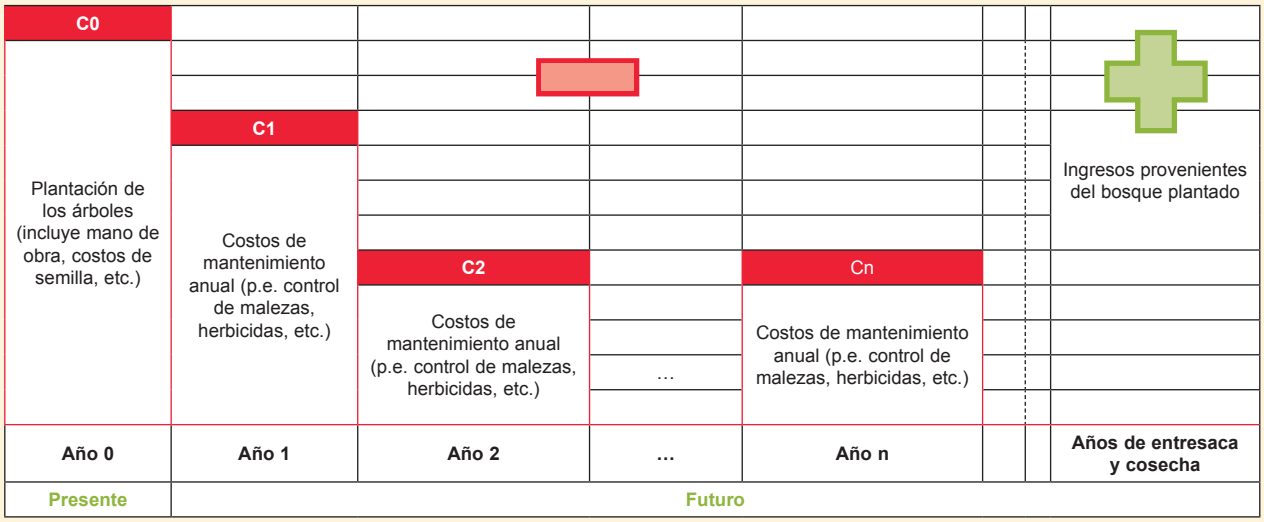

Figura 1. Diagrama de flujo que muestra las diferentes actividades a lo largo del tiempo

Después de haber descrito las actividades (costos e ingresos) y su presencia a lo largo del tiempo, el paso siguiente es determinar sus valores en términos absolutos (por ejemplo, dólares estadounidenses por hectárea, o colones por hectárea). Este proceso también se conoce como la definición de los datos financieros.

En el presente artículo se ofrece un ejemplo hipotético que se basa en dos artículos publicados: Griess y Knoke (2011) y Bermejo *et ál.* (2004). Estos dos artículos combinados son un buen ejemplo de cómo estructurar un análisis financiero para plantaciones forestales. En primer lugar, se necesitan valores absolutos de los costos. Adoptamos aquí los valores presentados por Griess y Knoke (2011):

- preparación del sitio y costos de siembra (en el año 0): US$974/ha
- costos de gestión y materiales en el año 1: US$748
- costos de gestión y materiales en el año 2: US$871/ha
- costos de gestión y materiales en el año 3: US$871/ha
- costos de gestión y materiales en el año 4: US$514/ha
- costos de gestión y materiales en el año 5: US$504/ha
- costos de gestión anual y materiales en los años 6-25: US$510/ha.

En cuanto a los ingresos, primero se debe identificar el crecimiento subyacente y los resultados de rendimiento. Estos resultados se adoptaron de Bermejo *et ál.* (2004). Se supone que el primer raleo a los 5 años no es comercial (marcado con X en la Figura 2). En lugar de generar ingresos, este raleo se suma a los costos de corta de US$300/ha. Los otros tres raleos intermedios ocurren en los años 8, 12 y 20 y la corta final se produce en el año 25, por lo tanto el período de rotación es de 25 años para esta plantación de teca (Figura 2).

En la Figura 2, los rectángulos de color verde definen tanto los años como las remociones para un índice de sitio de 23 m. Por ejemplo, a los ocho años, los procedimien-

Año	Volumen en pie (m^3/ha)			Volumen a cosechar (m^3/ha)		
	23	21	19	23	21	19
3	0	0	0			
5	49,8	30,2	27,2			
5	37,3	23,4	21,43	12,5	6,8	5,7
8	114	76,8	55,3			
8	85,3	59,5	43,65	**28,7**	17,3	11,6
12	137,2	107,6	98,5			
12	102,7	83,5	77,79	**34,5**	24,1	20,7
20	157,3	146,3	119			
20	117,7	113,3	93,84	**39,6**	33	52,2
25	133,2	136	115,3			
			Corta final	**133,2**	**136**	**115,3**

Figura 2. Hoja de cálculo que ilustra el cronograma para raleos intermedios y cosecha final, así como las remociones (m^3/ha) para cada corte intermedio y la cosecha final

tos de raleo intermedio producen 28,7 m^3/ha de madera de teca, mientras que en la corta final (año 25) se obtiene un volumen de 133,2 m^3/ha.

Adicionalmente se necesita información sobre: i) precios unitarios (en este caso de la teca) y ii) un cierto conocimiento de la proporción de madera del tronco versus el total de madera cosechada. Para conocer los precios unitarios de teca aplicamos los valores presentados en Griess y Knoke (2011). Ellos usaron los precios medios basados en el diámetro –mientras más grande es el tronco, más alto es el precio unitario (Griess y Knoke 2011). El rango de precio unitario fue de US$200/$m^3$ para un tronco entre 14 y 21 cm de diámetro y de US$365/$m^3$ para un tronco con diámetro mayor a 42 cm. Se asumió, entonces, que, en promedio, 80% de la madera total cosechada tenía valor comercial.

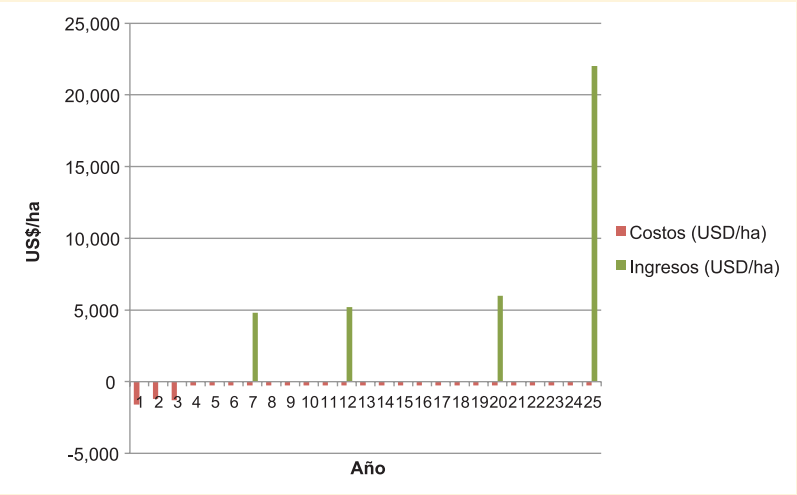

Figura 3. Flujos de costos e ingresos asociados a las actividades pertinentes de una plantación forestal

Una vez definidas las actividades (costos e ingresos) y los años asociados, se puede proceder a la creación de un marco para el análisis financiero. Para ello es necesario que, en primer lugar, se calculen los ingresos (multiplicando los precios unitarios por el volumen obtenido). Hay que tener en cuenta la proporción comercial de la madera del tronco (aquí 80%) para luego construir dos series de flujos (gastos e ingresos) a lo largo de la línea del tiempo. La Figura 3 ilustra tal procedimiento.

Un sistema de cálculo

Hasta aquí se han creado las actividades pertinentes y se han asociado los costos y los flujos de ingresos a lo largo de la línea del tiempo. El siguiente paso es tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo; dicho de otra manera, es necesario descontar los flujos de costos e ingresos de diferentes puntos en el tiempo de modo que estos flujos sean comparables. Uno de los métodos más importantes para el descuento es el valor presente neto (VPN), también llamado valor actual neto (VAN). El VPN es un criterio ampliamente aplicado para la decisión de inversiones que duran años o incluso varias décadas (Holopainen et ál. 2010, Knoke y Moog 2005, Möhring y Rüping 2008, Raunikar et ál. 2000). El VPN puede determinarse mediante la fórmula siguiente (adaptado de EU 2008):

$$VPN = \sum_{t=0}^{n} a_t S_t = \frac{S_0}{(1+i)^0} + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \ldots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad [1]$$

Donde S_t es el balance de flujo de efectivo en el momento t y a_t es el factor de descuento financiero elegido para descontar en el tiempo t.

En resumen, el VPN de una inversión (por ejemplo, el establecimiento de una plantación forestal) es la suma de todos los valores actuales, tanto negativos (costos) como positivos (ingresos), resultantes de esa

inversión. Existen varias modificaciones de la fórmula general de VPN (Hseu y Buongiorno 2001, Ahtikoski *et ál.* 2008) pero, esencialmente, la fórmula [1] es aplicable para todos los casos. Básicamente, el VPN constituye una metodología sólida que permite la evaluación de proyectos a largo plazo. Como se verá más adelante, la elección de una tasa de descuento apropiada juega un papel crucial en la valoración de los proyectos a largo plazo (Rambaud y Torrecillas 2005, Hepburn y Koundouri 2007, Weitzman 2010).

Consideración de la inflación

La inflación debe tomarse en cuenta cuando, en los últimos años, ha variado alrededor del 5% y/o cuando existen series mayores de cinco años disponibles en el país, tanto en los costos y precios como en los índices –p.e., el índice de precios al consumidor. En general, el valor nominal se refiere a un valor económico expresado en términos monetarios nominales fijos (es decir, en unidades de una moneda) en un determinado año o serie de años. Por el contrario, el valor real se ajusta al valor nominal para eliminar efectos de los cambios generales del nivel de precios en el tiempo. Por ejemplo, los cambios del valor nominal de alguna combinación de bienes en el tiempo pueden ocurrir debido a un cambio en las cantidades del lote o sus precios asociados, mientras que los cambios en los valores reales reflejan sólo cambios en cantidades. En el peor de los casos, los precios nominales podrían incluir distorsiones que conducen a interpretaciones erróneas del fenómeno real en estudio (por ejemplo, las fluctuaciones de precios unitarios podrían ocultar los fenómeno reales subyacentes). Técnicamente, los valores nominales se pueden convertir en términos reales mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$V_t^R = N_t^R / (I_t / I_b) \qquad [2]$$

Donde V_t^R = valor real de un precio (o costo) R en el año t; N_t^R = valor nominal por un precio (o costo) R en el año t; I_t = valor del índice para el año t; I_b = valor del índice para el año base, b.

Por ejemplo, en el año 2001 se tuvo un precio nominal de madera en pie de € 43,11/m^3; para el mismo año, el índice de precios al consumidor (IPC) fue de 19.490. Para el año de referencia b (año real 2009), el valor del índice del IPC fue de 22.485. El precio de la madera en pie en términos reales para el año 2001 sería, entonces, 43,11/(19.490/22.485), lo que resulta en €49,73/m^3.

Elección de la tasa de interés para el descuento

¿Qué tasas de interés se deberían utilizar en la determinación del VPN? o ¿cómo elegir la tasa de descuento? Para responder a estas preguntas se requiere información básica sobre los rendimientos financieros potenciales relacionados con plantaciones forestales en general. Un buen punto de partida podría ser el trabajo de Cubbage et ál. (2007), quienes revisaron los rendimientos potenciales (y reales) de plantaciones forestales en todo el mundo. Según los autores, las tasas de interés en el rango de 8 a 14% son de aplicación para las plantaciones forestales. Sin embargo, la tasa de interés a aplicar en el descuento es sensible a la ubicación geográfica, el período de rotación (que depende de las especies), el potencial de crecimiento (que depende de especies de árboles y propiedades del suelo), el nivel de riesgo tanto a nivel de país como local (condiciones laborales irregulares a nivel local); pero, más que todo, la tasa de interés es sensible a las expectativas de los inversionistas. En general, la tasa de interés depende de la duración de la inversión; por ejemplo, las inversiones que cubren largos horizontes temporales deben ser descontadas con tasas de interés a la baja, por lo menos en proyectos públicos (HM Treasury 2003).

Criterio de inversión

En general, existen tres métodos básicos para evaluar la rentabilidad de las empresas productivas. En primer lugar, el VPN que se basa en los métodos de presupuesto de capital (ver, por ejemplo, Griess y Knoke 2011). Los otros dos métodos básicos son la tasa interna de retorno (TIR) y relación costo-beneficio (B/C). Ambos se basan directamente en el VPN (ver ecuación [1]), por lo que son aplicaciones del método VPN. No obstante, los diferentes formatos permiten al analista comparar la rentabilidad de la actividad forestal con otras alternativas para asegurar el uso más beneficioso del capital.

La TIR se determina mediante el establecimiento de un VPN igual a cero, al resolver el tipo de interés que soluciona la ecuación. La tasa interna de retorno puede representarse formalmente con la siguiente fórmula:

$$VPN(S) = \sum \frac{S_t}{(1 + TIR^t)} = 0 \qquad [3]$$

Donde la tasa de descuento (TIR) hace igual a cero el valor actual neto de los flujos de costos y beneficios. Se debe enfatizar que las clasificaciones de TIR pueden ser engañosas (por ejemplo, en un caso de múltiples TIR), por lo que siempre es valioso calcular el VPN (Ley 2007). La TIR tiene otras deficiencias; por ejemplo, cuando hay proyectos que no logran generar beneficios durante muchos años, la TIR tiende a ser menor en comparación con los proyectos con una distribución bastante equitativa de los beneficios en el tiempo, a pesar de que el VPN de la primera podría ser mayor (EU 2008).

El tercer criterio básico la razón B/C representa el valor presente de

los beneficios divididos por el valor presente de los costos (EU 2008). Por la fórmula:

$$B/C = \frac{VP(Beneficios)}{VP(Costos)} \qquad [4]$$

Donde VP es el valor presente.

La relación B/C también tiene algunas deficiencias. Por ejemplo, no es apropiada para proyectos mutuamente excluyentes. Al ser una relación, el indicador no tiene en cuenta la cantidad total de beneficios netos y, por lo tanto, la clasificación puede premiar proyectos que contribuyen menos al aumento general del bienestar público (EU 2008).

En la práctica, el mejor criterio de inversión es el VPN, siempre y cuando quienes toman las decisiones tengan una tasa de interés objetivo concreta; por ejemplo, un 10%. Si este no es el caso, se puede usar la TIR junto con el VPN en la evaluación de diversos proyectos de inversión. En caso de que no existan diferencias claras entre los proyectos de inversión (por su clasificación) después de haber determinado el VPN y la TIR, se utilizan relaciones B/C para obtener más información para la clasificación.

Además de los indicadores básicos mencionados (VPN, TIR y B/C), existen otras medidas que a veces se emplean en el sector forestal: el período de amortización y renta anual equivalente (IAE), el retorno de la inversión (ROI) y la rentabilidad sobre el patrimonio (ROE). Las descripciones de estas medidas se pueden encontrar en la literatura existente.

Ahora que se han definido los cinco temas es el momento de establecer un sistema de cálculo que incluya las actividades pertinentes y valores asociados (costos unitarios y precios), los ingresos potenciales, la posible inflación, la tasa de descuento elegida y el criterio (o criterios) de inversión. En este estudio, el sistema de cálculo se basa en los ejemplos ya mencionados; para simplificar el análisis se ha excluido la inflación del presente sistema de cálculo.

Creación del sistema de cálculo final

Un programa de hoja de cálculo se puede utilizar para establecer un sistema de cálculo sólido. En primer lugar, se define el crecimiento y los resultados del rendimiento basados, en este ejemplo, en Bermejo *et ál.* (2004) (Figura 2). Luego se determina la proporción comercial del total de madera cosechada asociada a cada raleo y corte final por separado. En tercer lugar se fijan los precios unitarios y luego los costos unitarios (en este ejemplo se basan en Griess y Knoke 2011) y, finalmente se obtiene la hoja de cálculo que se detalla en la Figura 4. (La hoja de costos unitarios cubre 0-25 años, pero por razones técnicas tan solo se muestran los costos de los años 0-8).

En esta etapa, el sistema incluye los resultados de crecimiento y rendimiento, proporciones de madera del tronco, precios unitarios y costos unitarios asociados a una plantación forestal. Los valores están expresados en dólares americanos por hectárea para los costos unitarios y por metro cúbico para los precios unitarios. Los resultados de crecimiento y rendimiento (incluyendo los volúmenes de extracción) se presentan como metros cúbicos por hectárea.

El paso siguiente es la adición de fórmulas que tienen en cuenta el valor temporal del dinero (Figura 5). Una fórmula para el descuento se presenta para el segundo aclareo (a la edad de 8 años). Con una tasa de descuento del 8%, el VPN de estas plantaciones forestales hipotéticas es de US$6306/ha.

Una vez que se ha creado el sistema de cálculo (Figuras 4 y 5), se puede utilizar la hoja de cálculo para el análisis posterior. Por ejemplo, se podrían producir varios VPN para diferentes tasas de descuento, o calcular la TIR mediante el establecimiento de VPN igual a cero (Figura 6). También se pueden calcular las relaciones B/C. En la Figura 6 se observan valores actuales netos con diversas tasas de descuento. La tasa interna de retorno aparece entre paréntesis. La relación B/C se presenta por encima de las barras para cada tasa de descuento.

Foto: Proyecto CATIE-Finnfor

Para realizar una buena estimación de la rentabilidad de plantaciones forestales se deben considerar todas las actividades involucradas y sus respectivos costos

Además, se puede hacer un análisis de sensibilidad si, por ejemplo, se varían los precios unitarios o los costos unitarios (Figura 7). El análisis preliminar de sensibilidad reveló que el VPN es más sensible a los cambios en los precios unitarios que a cambios en los costos. Cuando se redujeron los precios unitarios en un 10%, el VPN se redujo a US$767/ha, mientras que con un incremento en los costos de 10%, el VPN se mantuvo en US$918/ha.

Conclusiones

Para realizar un análisis financiero adecuado en plantaciones forestales se requiere de cierta información que, afortunadamente es fácil de conseguir y de utilizar. No obstante, una revisión de la literatura disponible sobre la rentabilidad de plantaciones en América Latina muestra que muchos estudios no proporcionan listas detalladas de costos por actividad o por unidad. Esto no permite determinar si se consideraron todos los costos, complica las comparaciones entre estudios, e imposibilita la extrapolación de información para proyecciones en otras circunstancias. Muchos estudios sobreestiman la rentabilidad al no incluir, por una parte, todas las actividades y sus respectivos costos (desde el establecimiento hasta la comercialización, más el costo de la tierra) y, por otra, los gastos que no se presentan en efectivo (estos deben ser valorados e incluidos en el análisis a precio de mercado, incluso

Ingresos_descontados 8,00%

FEED INTEREST RATE

Valor Presente Neto (VPN)	Para S23	
	Para s21	94
	Para s19	1554

Volúmenes de cosecha

Año	S23	S21	S19	Proporción de madera de la entresaca	Dg (cm) S23	S21	S19	Precios unitarios (USD m^{-3}) S23	S21	S19	Valores presentes (pe. Ingresos descontados), %ha^{-1} SI 23	SI 21	SI 19
Año	Proporción de madera para la entresaca			0%	15,2	14,2	13,1	190	200	200			
5	12,5	6,8	5,7		0	0	0	0	0	0	0	0	0
				80%	22,7	20,5	18,6	223	200	200			
8	28,7	17,3	11,6		22,96	13,84	9,28	5120,08	2768	1856	2766	1495	1003
				80%	29	25,5	22,2	275	200	200			
12	34,5	24,1	20,7		27,6	19,28	16,56	7590	3856	3312	3014	1531	1315
				80%	35,9	30,7	27	335	200	200			
20	39,6	33	25,2		31,68	26,4	20,16	10612,8	5280	4032	2277	1133	865
				80%	43,9	36,1	31,5	365	200	200			
25	133,2	136	115,3		106,56	108,8	92,24	38894,4	21760	18448	5679	3177	2694
										suma:	13737	7337	5877

Resultado de crecimiento y cosecha

Proporciones de madera

Precios unitarios (dependen del diámetro)

COSTOS_descontados

Año	Costo original	Costo descontado
0	974	974
1	748	692.59259
2	871	746.74211
3	871	691.42788
4	514	377.80534
5	804	547.18889
6	509	320.75634
7	509	296.996611
8	509	274.996862

Costos unitarios (tener en cuenta que a los 5 años tienen un costo extra, ya que la primera entresaca no es comercial).

Figura 4. Vista de hoja de cálculo del sistema de cálculo

Ingresos_descontados

FEED INTEREST RATE 8,00%

Tasa de descuento

Valor Presente Neto (VPN)		
	Para S23	6306
	Para s21	94
	Para s19	1554

Valor presente neto, VPN para la plantación forestal (USD ha^{-1})

Volúmenes de cosecha

Año	S23	S21	S19	Proporción de madera de la entresaca	Dg (cm) S23	S21	S19	Precios unitarios (USD m^{-3}) S23	S21	S19	Valores presentes (pe. Ingresos descontados), % ha^{-1} SI 23	SI 21	
Año	Proporción de madera para la entresaca			0%	15,2	14,2	13,1	190					
5	12,5	6,8	5,7		0	0	0	0			0		
				80%	22,7	20,5	18,6	223					
8	28,7	17,3	11,6		22,96	13,84	9,28	5120,08			2766	14	
				80%	29	25,5	22,2	275	200	200			
12	34,5	24,1	20,7		27,6	19,28	16,56	7590	3856	3312	3014	15	
				80%	35,9	30,7	27	335	200	200			
20	39,6	33	25,2		31,68	26,4	20,16	10612,8	5280	4032	2277	1133	865
				80%	43,9	36,1	31,5	365	200	200			
25	133,2	136	115,3		106,56	108,8	92,24	38894,4	21760	18448	5679	3177	3694
										suma:	13737	7337	5877

Precios unitarios por el volumen comercial (teniendo en cuenta la proporción del

Valor presente neto de 5120,08 con una tasa de descuento del 8%. En fórmula: 5120(1,08) ^ (8) Donde ".08" representa el *% de la tasa de descuento y el exponente "8" el año de la segunda entresaca

Valor presente neto de los ingresos (beneficios) USD ha^{-1}

Resultado de crecimiento y cosecha

Proporciones de madera

Precios unitarios (dependen del diámetro)

COSTOS_descontados 7431

Valor presente de los costos USD ha^{-1}

Año	Costo original	Costo descontado
0	974	974
1	748	692.59259
[illegible]	[illegible]	[illegible]211
[illegible]	[illegible]	[illegible]788
[illegible]	[illegible]	[illegible]534
[illegible]	[illegible]	[illegible]889
[illegible]	[illegible]	[illegible]634
7	509	296.996611
8	509	274.996862

Costos unitarios (tiene en cuenta que a los 5 años tienen un costo extra, ya que la primera entresaca no es comercial).

Valor presente neto de 871 USD ha^{-1}: 871/(1.08) ^ (3) Donde "1,08" representa el 8% de la tasa de descuento y el exponente "3" el año

Figura 5. Valores financieros para raleos y cosecha final en el sistema de cálculo

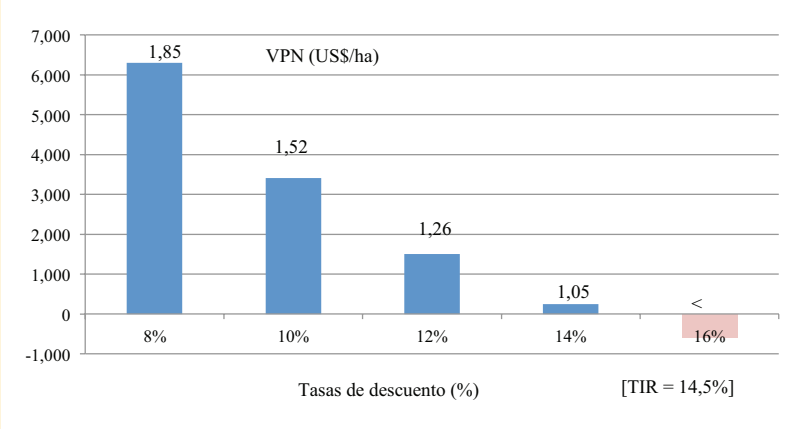

Figura 6. Valor presente neto para diferentes tasas de descuento

si no son pagados en efectivo –p.e., la mano de obra familiar). Otra manera de sobreestimar la rentabilidad es el cálculo de los ingresos sobre la base de los precios medios (p.e., asignar un mismo precio a todo el volumen de raleos comerciales y corta final), o precios poco realistas para el punto de venta (p.e., los precios pagados por los derechos de tala son más bajos que en la explotación agrícola, o en el sitio de procesamiento, en el puerto de exportación o colocado en el país de importación). A menudo no está claro si los valores de producción son valores asumidos por derechos de tala o comerciales (debido a la disminu-

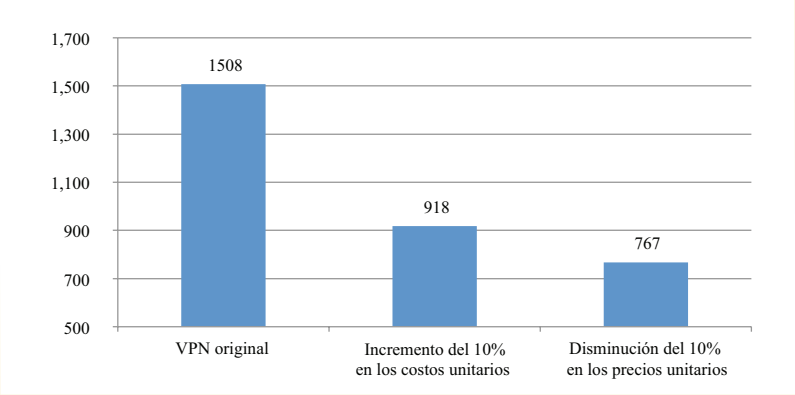

Figura 7. Variación en el VPN con cambios en los costos y precios

ción en el rendimiento). La inflación debería considerarse explícitamente o señalarse cuando no se incluya.

En general, se necesitan más estudios sobre los resultados reales de la rentabilidad financiera de las plantaciones en América Latina. Tales estudios debieran incluir información detallada acerca de los costos por actividad de principio a fin, de precios por diferentes dimensiones y calidades de los productos, así como mejor información sobre el crecimiento y rendimiento de las diferentes especies en diferentes sitios y datos empíricos sobre el rendimiento comercial de la plantación desde el establecimiento hasta la comercialización. Dada la escasez de datos útiles sobre costos e ingresos, las instituciones académicas y nacionales de América Latina debieran invertir en iniciativas para reunir y compartir, de manera sistemática, datos sobre costos y precios de la madera según dimensiones y cualidades de las especies claves en plantaciones. Además, los datos sobre costos debieran incluir coeficientes de las distintas actividades que permitan al usuario extrapolar los costos por hectárea o metro cúbico, o condiciones específicas para el país o región. Los aportes de estas iniciativas de recopilación de datos son necesarios si se van a desarrollar herramientas de modelación para la toma de decisiones sobre la plantación que vinculen la productividad forestal con el análisis financiero, lo que permitiría al usuario probar diferentes opciones de gestión y hacer proyecciones con diversas condiciones económicas y técnicas. Además de las herramientas necesarias, se debe pensar en la formación continua de los interesados para la creación de un sector forestal más dinámico que comparta información, aproveche las experiencias previas y promueva rendimientos reales de las inversiones forestales.

Literatura citada

Ahtikoski, A.; Kojola, S.; Hökkä, H.; Penttilä, T. 2008. Ditch network maintenance in peatland forest as a private investment: short- and long-term effects on financial performance at stand level. Mires and Peat 3(3): 1-11. http://www.mires-and-peat.net/

Bermejo, I.; Canellas, I.; Miguel, A.S. 2004. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. Forest Ecology and Management 18:97-110.

Cubbage, F.; Mac Donagh, P.; Sawinski Junior, J.; Rubilar, R.; Donoso, P.; Ferreira, A.; Hoeflich, V.; Morales Olmos, V.; Ferreira, G.; Balmelli, G.; Siry, J.; Noemi Baez, M.; Alvarez, J. 2007. Timber investment returns for selected plantations and native forests in South America and the Southern United States. New Forests 33:237-255.

EU (European Union). 2008. Guide to cost benefit analysis of investment projects. Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accesion. 257 p.

Griess, V.; Knobe, T. 2011. Can native tree species plantations in Panama compete with Teak plantations? An economic estimation. New Forests 41:13–39.

Hepburn, C.J.; Koundouri, P. 2007. Recent advantages in discounting: implications for forest economics. Journal of Forest Economics 13:169-189.

HM Treasury. 2003. The Green Book: Appraisal and evaluation in central government. London, United Kingdom. 114 p. http://www.hmtreasury.gov.uk/d/green_book_complete.pdf

Holopainen, M.; Mäkinen, A.; Rasinmäki, J.; Hyytiäinen, K.; Bayazidi, S.; Pietilä, I. 2010. Comparison of various sources of uncertainty in stand-level net present value estimates. For. Pol. Econ. 12: 377–386.

Hseu, J.S.; Buongiorno, J. 2001. Financial performance of Maple-Birch stands in Wisconsin: value growth rate versus equivalent annual income. Northern Journal of Applied Forestry 14(2):59-66.

Knoke, T.; Moog, M. 2005. Timber harvesting versus forest reserves – producer prices for open-use areas in German beech forests (*Fagus sylvatica* L.). Ecol. Econ. 52:97–110.

Ley, E. 2007. On the improper use of the internal rate of return in cost-benefit analysis. Washington D.C., The World Bank.

Möhring, B.; Rüping, U. 2008. A concept for the calculation of financial losses when changing the forest management strategy. For. Pol. Econ. 10:98-107

Rambaud, S.C.; Torrecillas, M.J.M. 2005. Some considerations on the social discount rate. Environmental Science & Policy 8:343-355.

Raunikar, R.; Buongiorno, J.; Prestemon, J.P.; Abt, K.L. 2000. Financial performance of mixed-age naturally regenerated loblolly-hardwood stands in the south central United States. For. Pol. Econ. 1:331-346.

STCP Engenharia de Projetos Ltda. 2009. Encouraging industrial forest plantations in the Tropics. Report of a Global Study. ITTO Technical Series No. 33. 141 p.

Weitzman, M. 2010. Risk-adjusted gamma discounting. Journal of Environmental Economics and Management 60:1-13.

Recursos Naturales y Ambiente/no. 64: 22-27

Conceptos básicos para la modelación del crecimiento forestal

Jari Hynynen[1]

Resumen

El uso de los bosques está determinado por los objetivos y las restricciones que aplican a la actividad forestal. El manejo forestal es una herramienta para alcanzar los objetivos propuestos en cuanto a la utilización de los bosques bajo determinadas condiciones. Uno de los objetivos del proyecto CapFor fue encontrar herramientas aplicables para apoyar las decisiones de manejo forestal por medio de modelos de crecimiento. En este artículo se introducen, de manera general, algunos enfoques comunes y métodos aplicados en la modelación de la dinámica del rodal en bosques plantados y manejados para la producción de madera y biomasa. Además, se describe un proceso simple para la creación de un sistema de predicción que ayude a la planificación del manejo forestal de la plantación.

Palabras clave: Ordenación forestal; desarrollo forestal; modelos de crecimiento; técnicas de predicción; simulación; métodos estadísticos.

Summary

Basics for forest growth modeling. Forest utilization is determined by both the objectives and the restrictions applied to the activity. Forest management is a tool to attain the objectives for the utilization of forests under determined conditions. As one of its objectives, project CapFor decided to create tools for supporting management decisions using growth models. This article provides general information on well-known approaches and methods used for simulating the dynamics of forest planted and managed for biomass and timber production. Also, a simple process for the development of a prediction system is described. This prediction system is intended to help in the planning of management of forest plantations.

Keywords: Forest management; forestry development; growth models; forecasting techniques; simulation; statistical methods.

1 Instituto de Investigaciones Forestales de Finlandia. jari.hynynen@metla.fi

Introducción

El uso de los bosques está determinado por los objetivos y las restricciones que se deben tener en cuenta en la actividad forestal; el manejo forestal, en consecuencia, es una herramienta para alcanzar los objetivos que nos fijamos en cuanto a la utilización de los bosques bajo determinadas restricciones. El manejo forestal incluye una serie de decisiones para definir la implementación de actividades; por ello, es primordial que se tomen las decisiones correctas y en el momento adecuado, para lo que se requiere una planificación cuidadosa de las prácticas de manejo. Para la planificación de la gestión forestal se necesita una gran cantidad de información de diversas fuentes. En primer lugar, necesitamos información actualizada sobre los recursos forestales que se van a gestionar; además, podríamos necesitar información sobre las características de las plantaciones forestales establecidas, o información sobre la propiedad de la tierra que será plantada para la producción de madera y biomasa. En segundo lugar, necesitamos hacer predicciones sobre el futuro desarrollo de los bosques. Para ello, debemos conocer las opciones de manejo posibles y factibles entre las que vamos a seleccionar aquellas que responden mejor a nuestros objetivos. Esto incluye información confiable sobre la capacidad de producción de diferentes especies de árboles, y las respuestas de estas especies a las prácticas de manejo.

Los modelos de crecimiento y rendimiento son herramientas para apoyar la toma de decisiones, ya que permiten obtener información sobre el desarrollo futuro de los bosques. En el mejor de los casos, un modelo de crecimiento ofrece, de manera concisa, la información relevante sobre las características de crecimiento y comportamiento de las especies de árboles en diferentes condiciones de crecimiento, para la toma de decisiones. Los modelos pueden desarrollarse en forma de tablas de producción, funciones de crecimiento simples o sofisticados sistemas de apoyo a la toma de decisiones. El formato en el que se aplican los modelos puede variar según el uso previsto y el medio ambiente operacional.

Los modelos de crecimiento forestal se diseñan siempre con un propósito y pueden emplearse como herramientas de investigación para ayudarnos a estructurar y comprender fenómenos o procesos complicados. Por otro lado, los modelos se pueden aplicar directamente en la práctica, como herramientas para la toma de decisiones. Para efectos prácticos de planificación del manejo forestal, los modelos estadísticos de crecimiento y rendimiento han resultado muy útiles y de uso generalizado. Según Burkhart (1992), los tipos más comunes de información proporcionada por los modelos de crecimiento son la actualización de inventarios, la evaluación de prácticas silviculturales, la planificación del manejo y la programación de la cosecha. Dependiendo del uso previsto del modelo se fijan diferentes requisitos para su funcionamiento (Figura 1).

Para el desarrollo de un modelo se requieren varias condiciones: 1) un adecuado conocimiento biológico y ecológico, así como la comprensión de los factores que afectan el crecimiento y la dinámica de los rodales de las especies de árboles a modelar; 2) un conjunto de datos de mediciones empíricas que cubran las condiciones de crecimiento y variedad de las prácticas de manejo aplicadas es decir, el área prevista de aplicación del modelo; 3) métodos estadísticos adecuados para ser aplicados en el ajuste del modelo; 4) la discusión crítica y sin ambigüedades e información del rendimiento esperado del modelo, incluyendo la recomendación de la zona de aplicación, restricciones e información sobre las condiciones en las que el modelo no debe ser utilizado.

En la literatura relacionada con los modelos y su aplicación en los sistemas de planificación aparecen una gran cantidad de términos, muchas veces poco claros. En este artículo, entendemos por '*modelo*'

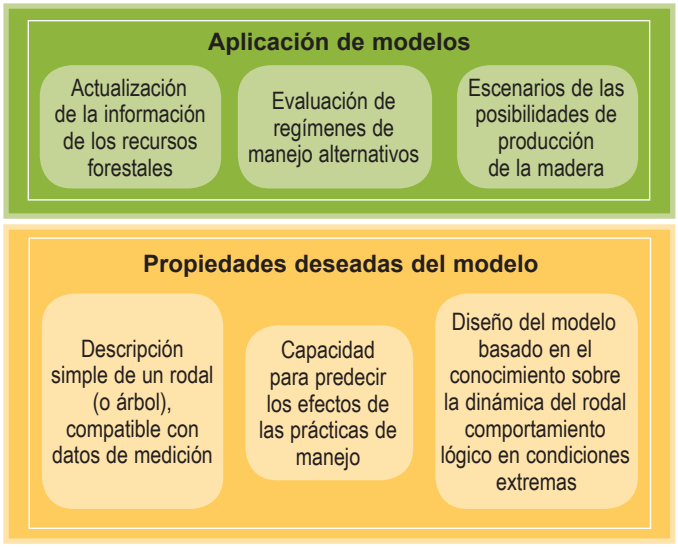

Figura 1. Aplicaciones y propiedades deseadas de los modelos en el manejo forestal

una o más ecuaciones que predicen una propiedad, estado o desarrollo de una característica o evento (p.e., volumen del árbol o crecimiento en altura). Con el fin de predecir el desarrollo del rodal, muchos modelos deben ser aplicados de forma simultánea. Un *simulador* es una plataforma en la que los modelos se aplican como un sistema de predicción que produce predicciones de crecimiento y rendimiento. Los simuladores de crecimiento y rendimiento son el núcleo de los *sistemas de apoyo a la toma de decisiones* diseñados para el manejo forestal.

En el proyecto CapFor, el objetivo fue encontrar herramientas aplicables para el apoyo de las decisiones de manejo forestal, y promover el uso de modelos como apoyo a la toma de decisiones. No existe literatura científica muy abundante disponible que aborde el desarrollo y uso de modelos. Este artículo pretende introducir, de manera práctica algunos enfoques y métodos aplicados en la modelación de la dinámica del rodal en bosques plantados, manejados para la producción de madera y biomasa. El tema se analiza en términos generales, sin referencias a la literatura.

Datos de modelación

El papel de los datos empíricos es crucial, tanto en el desarrollo del modelo como en su aplicación. Aunque la estructura básica de un modelo se basa a menudo en una serie de factores de información que afectan el objeto a ser modelado, se necesitan datos fiables para obtener valores adecuados para el ajuste de los parámetros del modelo. Los datos para la modelación deben cubrir la variación en las condiciones de crecimiento en las que el modelo será aplicado.

También se requieren datos cuando se aplican los modelos. Ya desde la etapa de desarrollo del modelo, se debe tener en cuenta la disponibilidad y características de los datos. En la práctica, los datos empíricos de medición de una plantación forestal se miden en inventarios forestales que incluyen información limitada de las características del lugar. Por lo tanto, es importante que la descripción del sitio en un modelo sea compatible con los datos de las condiciones reales en las que se aplica el modelo. Por ejemplo, los modelos que requieren como datos de entrada una descripción detallada a nivel de árbol en plantación no son de mucho uso, si en la etapa de aplicación sólo hay pocas características de rodal medidas en datos de inventario.

Existen diferentes tipos de datos forestales en función de su uso previsto. Para propósitos prácticos, los inventarios forestales son la forma más común de obtener datos del bosque. Para fines de investigación, por lo general se prefieren los experimentos diseñados.

Los datos de inventarios forestales constituyen usualmente una muestra bastante grande, representativa y objetiva de la superficie forestal inventariada. Estos datos son especialmente adecuados para el seguimiento del estado de los bosques (recursos forestales, vitalidad, etc.). Estos son los tipos de datos más comunes a los que se aplican los modelos. Para la modelación, estos datos se ajustan mejor a los modelos estáticos que predicen características dadas; por ejemplo, volumen de biomasa, estructura o distribución de tamaño de rodal. También son adecuados si el objetivo es diseñar un modelo que proporcione una predicción imparcial para el área forestal inventariada. Un muestreo representativo para la actualización de los datos de inventario puede ser deseable para modelos de crecimiento de corto plazo.

En los datos de inventario, por lo general están bien representados los tipos más comunes de bosques, aunque no las condiciones extremas de crecimiento o tratamientos. Por lo tanto, estos datos rara vez son adecuados para modelar la respuesta a diferentes tipos de prácticas de manejo, ya que los tratamientos extremos a menudo están muy mal representados.

Los experimentos diseñados se establecen principalmente para fines de investigación. Estos experimentos permanentes que se miden repetidamente tienen un diseño estadístico experimental que permite el análisis estadístico y la comparación de diferentes tratamientos. El objetivo del experimento diseñado es obtener la respuesta a un tratamiento dado y, al mismo tiempo, minimizar la variación. Este tipo de experimentos es adecuado para evaluar los efectos de las prácticas de manejo forestal, tales como respuesta al espaciamiento, raleos pre-comerciales y comerciales, fertilización, poda, etc. Los experimentos permanentes son medidos repetidamente, cada cierto tiempo durante períodos de largo plazo. El tamaño de la parcela es a menudo lo suficientemente grande para la modelación de las dinámicas del rodal; sin embargo, estas parcelas experimentales forman una muestra subjetivamente elegida. Normalmente se establecen en sitios muy homogéneos y con espaciamiento regular entre los árboles. Los resultados obtenidos en este tipo de rodales no pueden ser generalizados a las plantaciones comerciales comunes.

Enfoques comunes para el desarrollo de modelos

El objetivo del análisis estadístico de los datos empíricos es evaluar la magnitud y la significancia estadística de los factores relevantes y generales que afectan el estado y la estructura o dinámica de un árbol o un rodal. Un modelo es el resultado del análisis estadístico de los datos de las mediciones empíricas; es una descripción simplificada y concisa de una característica o un proceso expresada en formato matemático.

En el desarrollo del modelo, el objetivo es incluir correlaciones, regularidades y patrones que afectan al objeto a ser modelado (por ejemplo, volumen del fuste o incremento en el área basal del rodal). Cuando se aplica el modelo, las dependencias son generalizables a un rodal (o a un árbol) al cual se aplica el modelo. Un modelo (crecimiento) es una manera eficaz de llevar a la práctica los resultados de investigación.

Los factores más importantes que influyen en el crecimiento y rendimiento se pueden encontrar en la mayor parte de modelos de crecimiento y rendimiento. En primer lugar, las propiedades del sitio que obviamente afectan el crecimiento y rendimiento, así como los efectos del clima (temperatura, precipitación), la textura del suelo y la fertilidad. Además, el tamaño de los árboles o la cantidad del material en crecimiento por unidad de área afectan la capacidad fotosintética, la absorción de agua y nutrientes y, en consecuencia, la capacidad de producción de biomasa. La tasa de crecimiento de los árboles durante su ciclo de vida sigue un patrón de crecimiento específico para la especie. Por lo tanto, la edad de la plantación o la edad de los árboles a menudo forman parte de las variables que determinan los modelos de crecimiento. A veces, la altura dominante del rodal se aplica para describir la etapa de desarrollo del rodal en relación con otros rodales de la misma edad. Por último, el grado de competencia entre árboles, dentro de un rodal, por recursos, agua, nutrientes y luz es una fuerza impulsora importante que afecta tanto la tasa de crecimiento como la distribución del crecimiento. Dependiendo del tipo de modelo, el grado de competencia puede ser incluido como característica que representa la densidad del rodal (en modelos a nivel de rodal), y como variables referentes a la situación competitiva de un árbol dado en un rodal.

En la mayoría de los modelos de crecimiento y rendimiento se supone que el impacto de los factores de crecimiento es multiplicativo. Esto permite la linearización del modelo cuando se ajuste a los datos mediante la aplicación de la transformación logarítmica.

Para propósitos de manejo forestal, se ha desarrollado y aplicado una gran variedad de diferentes tipos de modelos, aunque los más comunes son los modelos a nivel de rodal. Estos buscan predecir características como volumen del rodal, área basal, número de tallos, altura dominante, diámetro medio, etc. Los modelos a nivel de rodal son los más adecuados para la modelación de las plantaciones forestales, por tratarse estas de rodales homogéneos de la misma edad y especie única. Estos modelos son relativamente fáciles de construir y aplicar, pues no se necesitan muchos datos y se basan en las características comúnmente medidas en el rodal. Las variables que describen los factores de crecimiento determinantes en modelos a nivel de rodal son el índice de sitio, la edad y variables dependientes de la densidad de rodal (volumen, área basal, número de tallos...).

El efecto de las prácticas de manejo también se puede incluir en los modelos a nivel de rodal pues generalmente se describen en ese nivel. Por ejemplo, el efecto de raleo se puede introducir en un modelo usando una variable categórica simple (raleado o no), o con una variable que se refiera a la intensidad de raleo (% de la ocupación retirada). Muchos modelos suponen que el efecto del raleo debe tenerse en cuenta en la reducción del valor de la variable densidad del rodal.

En la aplicación de los modelos a nivel de rodal, la unidad más pequeña de resolución es un rodal y los resultados del modelo son las medias y sumas por unidad de área de las características del rodal, como el volumen de troncos por hectárea, la altura dominante del rodal, el diámetro medio, etc. Si se necesitara una descripción más detallada de la dinámica del rodal, que incluya información de variación dentro del rodal y dinámica de su estructura, se podría considerar la modelación del árbol individual. En los modelos de árbol individual, por definición, el objeto modelado es un árbol. Estos tipos de modelos requieren información de medición a nivel de árbol en los datos para la modelación, así como en los datos que van a ser aplicados. La ventaja es una capacidad de predicción detallada de la dinámica de rodales. Ellos son aplicables en la modelación de rodales con estructura heterogénea, como los bosques mixtos. En los modelos a nivel de árbol, la mayoría de las variables determinantes son las mismas que en los modelos a nivel de rodal, pero se suelen incluir las dimensiones de árboles (dap, altura, longitud de copa, etc.) para describir el tamaño de un árbol. Además de las variables de competencia a nivel de rodal (densidad de la masa total), el estado de la competencia de un árbol individual con respecto a otros árboles puede describirse con variables tales como tamaño del árbol relativo o área basal de árboles más grandes. Mediante la aplicación de esas variables es posible predecir la dinámica del rodal de una manera más detallada.

Desarrollo de un sistema de predicción para una plantación forestal

A continuación se presenta un ejemplo simple del proceso de construcción de un sistema de predicción para plantaciones forestales, con fines de planificación del manejo. Este proceso consta de cuatro pasos. La meta es desarrollar un método sencillo para evaluar los impactos del manejo forestal en la producción de madera de una plantación forestal de una sola especie y de edad homogénea. Para el modela-

do, hemos adoptamos un conjunto de modelos estadísticos basados en datos de medición de las plantaciones forestales.

Paso 1. Predicción del volumen del fuste

El volumen de madera comercial es una de las principales características de la plantación forestal que inciden en la decisión de manejo. Necesitamos conocer los volúmenes de fustes por clase diamétrica con el fin de evaluar el valor de las cosechas. El método más ampliamente aplicado para la predicción del *volumen del tronco* es la modelación del volumen como una función del diámetro y la altura del árbol.

Para el desarrollo de este tipo de modelo se necesitan datos de muestras de árboles de diferentes tamaños y edades talados en la plantación; tales datos deben incluir el diámetro, la altura y el volumen de las muestras. Los modelos de volumen para teca desarrollados por Pérez y Kanninen (2003) sirven como ejemplo de este tipo de enfoque de modelación. Estos autores construyeron un modelo para el volumen total del tronco a partir del diámetro y la altura de los árboles como variables determinantes. El modelo permite predecir el volumen del tronco hasta un diámetro superior definido por el usuario. Con este sistema es posible predecir el volumen de madera en árboles de una manera flexible.

Paso 2. Predicción de la capacidad de producción del sitio

El potencial de producción de una plantación se define principalmente por el clima y las propiedades del sitio. La predicción fiable de la capacidad de producción de un sitio es uno de los pilares de los sistemas de predicción del crecimiento y rendimiento. Necesitamos conocer la capacidad de producción de una especie forestal que crece en determinado sitio, con el fin de predecir su crecimiento y rendimiento. El índice de sitio es el método que más se usa para la evaluación de la calidad de sitio en plantaciones forestales. En plantaciones monoespecíficas y coetáneas se ha encontrado que el desarrollo de la altura de los árboles expresa bien el potencial de producción de un rodal. Esta es una variable bastante insensible a la densidad del rodal y a las prácticas de manejo usadas para controlar la densidad de la masa aplicando el raleo por lo bajo.

Para evaluar el índice de sitio, se modela primero el crecimiento en altura de los árboles dominantes en función de la edad de la plantación. Para eso necesitamos los datos de edad del rodal, altura dominante y de medición de árboles en pie o árboles derribados de parcelas de muestreo, temporales o permanentes. Los datos deben incluir las observaciones de rodales de diferentes edades con el fin de modelar el crecimiento en altura durante la vida entera de la plantación. Una vez construido el modelo de crecimiento en altura dominante, se puede aplicar el modelo de predicción de índice de sitio y la curva de índice de sitio (es decir, la curva de crecimiento en altura dominante) para cualquier rodal.

Paso 3. Predicción de la distribución del tamaño de los árboles en una plantación

En la práctica, sólo se miden o calculan en los inventarios características a nivel de rodal, tales como el área basal, número de tallos, diámetro medio, altura media, etc. Con el fin de estimar el valor de la madera comercial aprovechable, se requiere una información más detallada de la estructura de las remociones potenciales. Para la estimación de la cantidad de madera comercial por clase diamétrica necesitamos saber la variación en el tamaño de los árboles dentro de un rodal.

En las plantaciones forestales, podemos hacer predicciones razonables del contenido de madera en pie con la ayuda de la información a nivel de rodal y los modelos que predicen la distribución del tamaño de los árboles en función de las características medidas.

Para la modelación de la distribución del tamaño se necesitan datos de medición temporal o de largo plazo, de todos los árboles de una parcela de muestreo; las dos variables más importantes son el diámetro y la altura. Para predecir la distribución de tamaños, en términos del volumen de fuste, necesitamos conocer tanto la distribución del diámetro y de altura.

Muy a menudo, la distribución del tamaño se modela con funciones paramétricas de densidad, tales como la función Beta de Johnson SB o la función Weibull. Los modelos de Siipilehto y Siitonen (2004) y Siipilehto (2011) son buenos ejemplos de un enfoque moderno de modelado de distribución de tamaños.

Con base en las características del rodal medidas podemos crear una lista de árboles con información de diámetros y alturas y luego estimar el volumen de madera comercial por clase diamétrica.

Paso 4. Predicción de la dinámica del rodal

El desarrollo de modelos de predicción de un rodal es el núcleo del sistema de simulación. Debido a que estamos desarrollando un sistema de predicción para plantaciones forestales homogéneas, podemos predecir la dinámica con la ayuda de modelos a nivel de rodal.

En la modelación de la dinámica del rodal de una plantación manejada se hace especial énfasis en una descripción fiable de la dinámica del rodal y las respuestas a las prácticas de manejo. El control de densidad (raleos) es el tratamiento más comúnmente aplicado, y afecta en gran medida la competencia

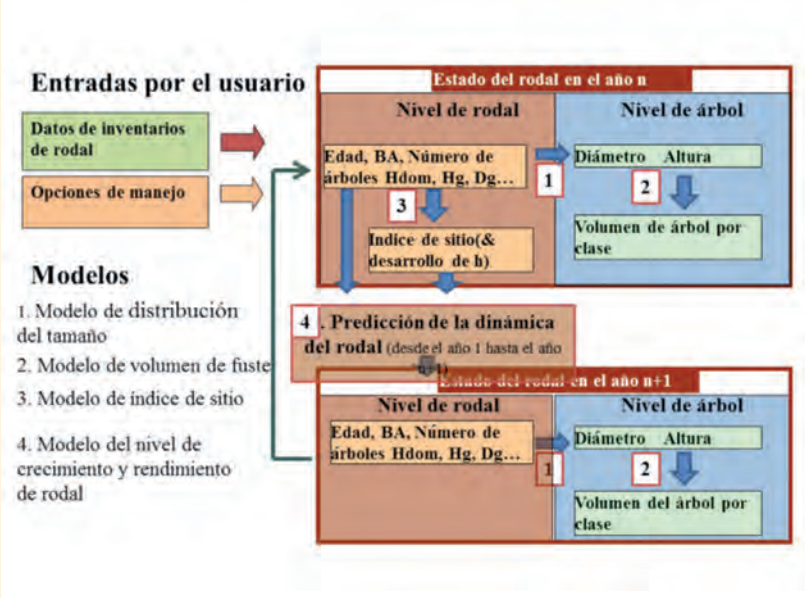

Figura 2. Descripción simplificada de un simulador aplicado a modelos de crecimiento a nivel de rodal y modelos de distribución de tamaño

entre los árboles. Con el fin de predecir la dinámica de una plantación se deben construir modelos que ayuden a determinar la supervivencia y el incremento en el tamaño de los árboles. Debido a que siempre habrá algo de mortalidad en las plantaciones, en el sistema de predicción se debe incluir el modelo de predicción de la magnitud de la mortalidad natural. El enfoque más común es modelar la disminución del número de plantas en función de la edad de la plantación.

Existen varias alternativas para modelar el incremento de la madera del tronco de una plantación a nivel de rodal. Una opción es desarrollar directamente el modelo para el volumen total del tronco (incremento en área basal del rodal). Además, los modelos de crecimiento para las características medias del rodal tales como diámetro medio y la altura media se desarrollan a menudo como sub-modelos de los sistemas de predicción. El modelo de crecimiento en altura dominante del rodal ya se describió en párrafos anteriores.

Para el modelado de la dinámica del rodal se recomiendan datos de muestreo de parcelas permanentes con mediciones sucesivas. Si el objetivo es incluir el impacto de las prácticas de manejo sobre el crecimiento y rendimiento se requieren los datos de diseño de experimentos con una intensidad variable de manejo (por ejemplo, raleo).

Con la ayuda de los modelos descritos, es posible construir un simple sistema de predicción del crecimiento y rendimiento. El principio de una posible estructura de sistema de predicción a nivel de rodal se describe en la Figura 2. En este ejemplo, la dinámica del rodal se predice con los modelos a nivel de rodal. La estructura de la masa se puede predecir en un momento determinado con la ayuda de modelos de distribución de tamaño (clases) de densidad y alturas de los árboles dentro de cada clase de diámetro. Con base en esa información, se pueden aplicar ecuaciones de volumen del tronco para predecir el volumen de madera comercial por surtidos de madera.

Literatura citada

Burkhart, H.E. 1992. Tree and stand models in forest inventory. *In* Nyyssönen, A; Poso, P; Rautala, J. (Eds.). Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories (Finland 17-21 August 1992). The Finnish Forest Research Institute. Research Papers no. 444:164-170.

Pérez, L.D.; Kanninen, M. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. Silva Fennica 37(1):45-54.

Siipilehto, J. 2011. Methods and applications for improving parameter prediction models for stand structures in Finland. Disertaciones Forestales no. 124.

Siipilehto, J; Siitonen, J. 2004. Degree of previous cutting in explaining the differences in diameter distributions between mature managed and natural Norway spruce forests. *In* Uneven-aged forest management: alternative forms, practices and constraints. Silva Fennica 38(4): 425-435.

Recursos Naturales y Ambiente/no. 64: 28-31

¿Cómo generar modelos de índice de sitio?

Jenny Salgado[1]

Resumen

Los modelos de índice de sitio permiten evaluar y clasificar los sitios forestales, según la capacidad de producción de la especie forestal plantada. Básicamente, estos modelos parten de la evaluación y estimación de la altura que pueden alcanzar los árboles dominantes o codominantes sanos a una edad de referencia establecida. El objetivo general del estudio fue diseñar un modelo de índice de sitio a partir del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.F.). Para ello, se utilizaron datos de mediciones repetidas, provenientes de parcelas permanentes de muestreo (PPM) en plantaciones de teca establecidas en varias zonas de Guatemala. Se utilizaron los modelos lineales mixtos ajustando el modelo Schumacher, para analizar la relación de la altura dominante con la edad en plantaciones y crear curvas de índice de sitio para la especie.

Palabras clave: *Tectona grandis;* árboles forestales; producción forestal; índice de sitio; índice de crecimiento; modelos lineales; Guatemala

Abstract

Generation of site index models. The site index models help in the evaluation and classification of forest sites, according to the productive capacity of the forest species. Basically, these models are rooted on the determination of height that healthy dominant and co-dominant trees may reach at a given age. The objective of this study was to design a site index model from growth of young teca (*Tectona grandis* L.F.) stands. Repeated measurements from permanent plots in teca stands were considered to build the model. These plantations were established in different regions in Guatemala. The Schumacher model was adjusted to determine the relation between dominant height and age of the stand, and to define site index curves for the species.

Keywords: *Tectona grandis;* forest trees; forestry production; site index; growth rate; linear models; Guatemala.

1 Proyecto CATIE - Finnfor. jsalgado@catie.ac.cr

Introducción

Los dispositivos de monitoreo forestal han sido utilizados con el fin de generar información para el desarrollo de modelos cuantitativos que permitan evaluar aspectos relacionados con el desarrollo, productividad y dinámica de crecimiento de las especies en las plantaciones forestales y orientar el manejo forestal sostenible (Marmillod 2012). Las parcelas permanentes de monitoreo forestal (PPM) son los dispositivos más utilizados actualmente en Centroamérica, ya que generan información permanente del estado de la plantación, principalmente en cuanto al crecimiento de las especies.

En Guatemala, al implementarse el Programa de incentivos forestales (Pinfor), a partir del año 1997, el Instituto Nacional de Bosques (INAB) estableció parcelas permanentes en plantaciones forestales por medio de la metodología 'manejo de información sobre recursos arbóreos en el componente de silvicultura' (Mirasilv), desarrollada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tales parcelas siguen siendo monitoreadas por la Sección de Seguimiento y Evaluación de Plantaciones Forestales y Bosque Natural del INAB (Cojom 2008). El objetivo general del estudio fue diseñar un modelo de índice de sitio a partir del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis L.F.)* establecidas por Pinfor en varias regiones de Guatemala.

El índice de sitio es una medida del potencial de producción de una especie forestal en un sitio específico, en donde a mejor calidad de sitio mayor será su producción (Clutter *et ál*. 1983). Un modelo de índice de sitio permite cuantificar el potencial de producción en cada rodal evaluado, definir la calidad del sitio desde excelente hasta muy pobre y realizar comparaciones entre ellos.

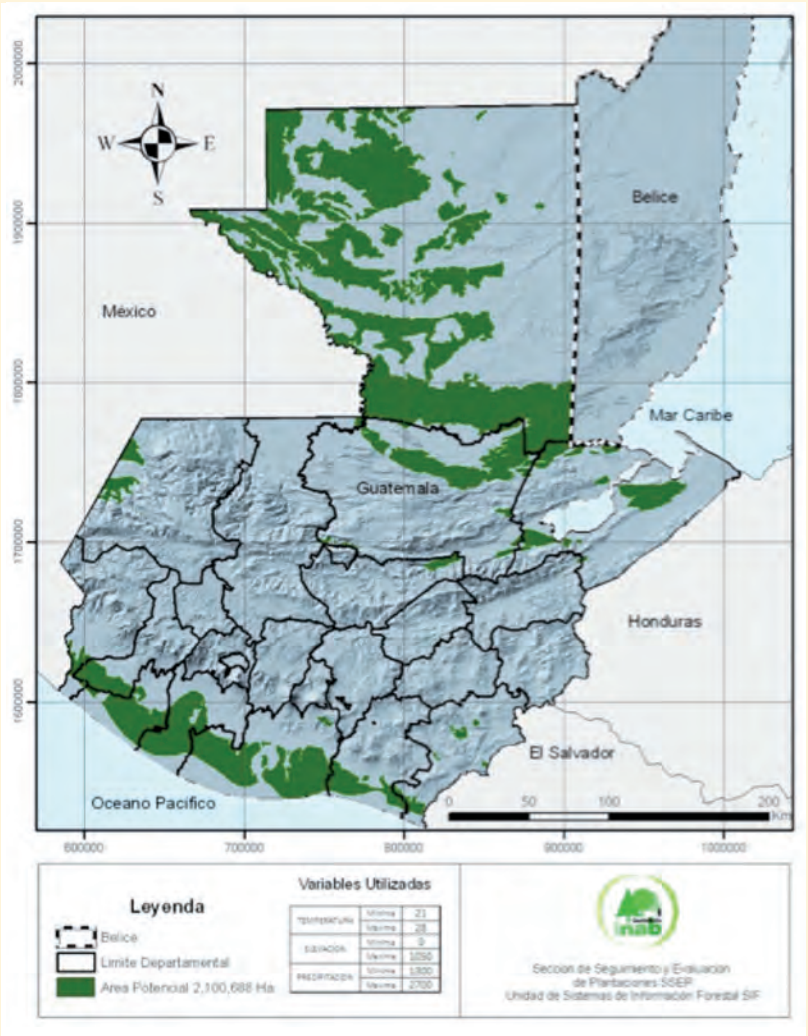

Figura 1. Mapa de distribución potencial de *Tectona grandis* en Guatemala

Los modelos de índice de sitio permiten evaluar y clasificar los sitios forestales, según la capacidad de producción de la especie forestal plantada. Básicamente, estos modelos consisten en evaluar y estimar la altura que pueden alcanzar los árboles dominantes o codominantes sanos a una edad de referencia establecida. En el crecimiento de una especie en un lugar dado influyen muchos factores, y tratar de determinar el efecto de cada uno de esos factores en la calidad de un sitio es aún más complejo (Mora y Meza s.f.). Según Vanclay (1994), la vegetación por si sola refleja la mayoría de los factores del sitio; asimismo, el crecimiento de rodales monoespecíficos y coetáneos refleja con precisión la productividad del sitio.

Comúnmente, los métodos de predicción parten de la altura a una edad conocida, la cual permite estimar el índice de sitio o el volumen de producción esperado. Si existen árboles en el rodal lo suficientemente grandes como para reflejar el máximo potencial en altura de la especie de interés, la altura del rodal puede ser usada como un estimador de la productividad del sitio (Vanclay 1994).

Una dificultad de usar datos de altura total del árbol es la visibilidad de las copas. La teca es una especia caducifolia que permite obtener mediciones de la altura total bastante exactas, especialmente durante la época en que las copas están sin hojas (Mora y Meza s.f.). Otros problemas pueden deberse a la presencia de árboles emergentes, cosecha de los árboles más altos y los daños causados por el viento sobre las copas de los árboles (Vanclay 1994).

Desarrollo de modelos de índice de sitio

La metodología Mirasilv utiliza parcelas permanentes de evaluación forestal de forma rectangular, con un área de 500 m^2 (20 x 25 m), en donde se miden todos los individuos plantados. Algunas PPM cuentan con hasta ocho mediciones, pero otras solo han sido medidas una vez. En el análisis se consideraron parcelas que tuvieran al menos tres mediciones.

Las PPM se encuentran distribuidas en todos los departamentos del país. Para la generación del modelo de índice de sitio se incluyeron datos de 363 mediciones correspondientes a mediciones repetidas de 72 parcelas. Estas parcelas se ubican en cuatro regiones de Guatemala (Costa sur, Nororiente, Petén y Verapaces), identificadas por el INAB como áreas de distribución potencial de la teca (color verde en el mapa de la Figura 1).

A partir de los datos tomados en campo a nivel de árbol, para cada una de las parcelas se calcularon las siguientes variables a nivel de rodal. Dicha información se utilizó luego en la construcción de los modelos de índice de sitio:

- Diámetro a la altura al pecho (dap) promedio por parcela. En el caso de árboles con más de un fuste (bifurcados), el dap se calculó por medio del diámetro cuadrático medio
- Altura dominante (Hd), definida como el promedio de la altura de los 100 árboles más altos (dominantes en altura) por hectárea
- Número de árboles por hectárea
- Edad del rodal en años (T)
- Área basal por hectárea
- Área de cada parcela
- Fecha de plantación

Para efectos de este estudio se consideró el índice de sitio como la altura promedio de los árboles dominantes (100 árboles/ha) a una edad de referencia, que en este caso se definió en diez años.

Datos incluidos en el análisis

Para el cálculo del índice de sitio, solo se utilizaron datos de parcelas antes de ser intervenidas o aprovechadas debido a que se encontraron señales de intervenciones, de las cuales no se tenía información al inicio. En la Figura 2 se muestran los datos incluidos en el análisis; cada punto corresponde a un valor de altura dominante (Hd) por rodal y las líneas unifican los datos por parcela. Se encontraron datos de Hd de hasta de 26 m en parcelas con edades de hasta 13,6 años (Cuadro 1).

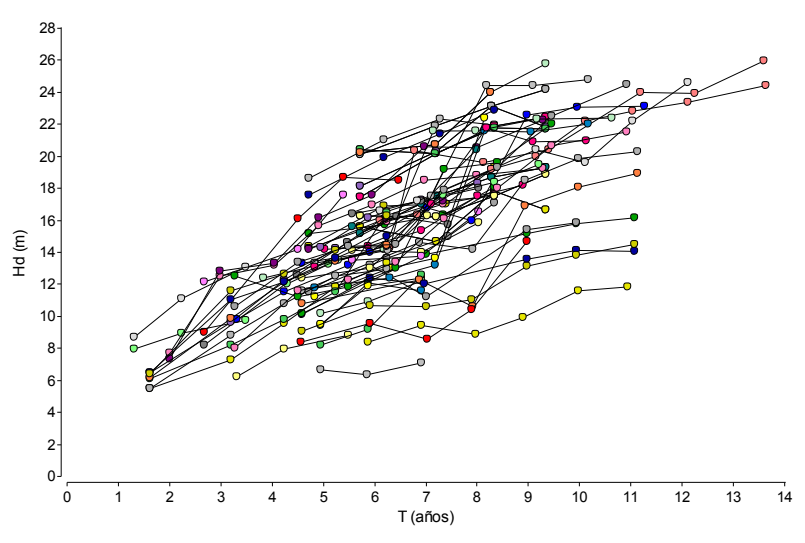

Figura 2. Datos de PPM incluidas en el modelo

Cuadro 1. Medidas resumen de las variables incluidas en los análisis a nivel de rodal

Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Edad	363	6,7	2,3	34,2	1,3	13,6
Hd	361	15,5	4,8	31,1	3,2	26,0
Dap	363	15,2	6,2	40,5	2,0	40,2

Desarrollo del modelo

Un modelo comúnmente usado para estimar los índices de sitio fue propuesto por Schumacher (1939). Este es un modelo lineal que permite la estimación de una familia de curvas para relacionar la altura con la edad mediante el ajuste de la ecuación:

$$\ln(Hd) = \beta_0 + \beta_1 T^{-1} + \varepsilon$$

Donde: Hd= altura dominante del rodal a la edad T; T= edad del rodal

Cuadro 2. Modelos seleccionados para la variable respuesta 'altura dominante'

Nombre modelo	Efectos fijos	Efectos aleatorios	Heterocedasticidad	Estructura de correlación
Modelo.1	T-1	Parcela	No	No
Modelo.2	T-1	Parcela	VarPower	No

Cuadro 3. Criterios para la comparación de modelos analizados

	df	AIC	BIC	logLik	Prueba	Razón L.	Valor p
Modelo. 1	4	-251,14	-235,89	129,57			
Modelo. 2	5	-340,94	-321,88	175,47	1 vs 2	91,8	<0,0001

AIC: criterio de información de Akaike; BIC: criterio de información bayesiano

Cuadro 4. Coeficientes de los efectos fijos

	Valor	Error estándar	DF	t-value	p-value
Intercepto	3,28972	0,03176	263	103,59226	<0,0001
T^(-1)	-3,41453	0,12857	263	-26,55751	<0,0001

Para analizar las mediciones repetidas de PPM se realizó el ajuste del modelo de Schumacher bajo la óptica de los modelos lineales mixtos. Como los datos provienen de PPM en donde existe correlación residual entre las observaciones que corresponden a una misma parcela, es necesario considerar la estructura de la matriz de covarianza residual, la cual es posible modelar por medio de la matriz de correlación (Di Rienzo *et ál*. 2011).

El análisis de datos comprendió el ajuste de diferentes modelos, incluyendo efectos aleatorios con diferentes estructuras de covarianza, estructuras de correlación residual y modelación de la heterocedasticidad residual, en el caso de que hubiera. Se eligió el mejor modelo tomando en cuenta los criterios de verosimilitud AIC (criterio de información de Akaike) y BIC (criterio de información bayesiano). Con el mejor modelo seleccionado se estimó el índice de sitio para cada parcela, el cual permitió definir desde los mejores sitios hasta los más pobres.

De todos los modelos probados, se seleccionaron los dos modelos con los mejores ajustes. Estos modelos se desarrollaron para la variable respuesta Hd, transformada a logaritmo. En el Cuadro 2 se detallan los dos modelos seleccionados. La prueba de cociente de verosimilitudes mostró diferencias significativas (p<0,0001) entre los dos modelos (Cuadro 3); al comparar los valores de AIC y BIC para las estructuras que se ajustaron, se encontró que el menor valor se obtiene con el modelo 2.

Despues de ajustar el modelo 2, se procedió a escribir el modelo final de índice de sitio, utilizando los parámetros fijos del modelo mixto (Cuadro 4). en función de la altura dominante y de la edad de los árboles.

$$Ln(Hd) = 3{,}28972 + (-3{,}41453 * (T^{-1}))$$

El indice de sitio (S) se estima para cada parcela por medio del modelo ajustado. Para esta estimación se utilizó la última medición de la parcela. Considerando una edad de referencia de diez años, se puede calcular el índice de sitio mediante la ecuación:

$$Ln(S) = Ln(Hd) + 3{,}41453 * ((T+1)^{-1} - 10^{-1})$$

Con el fin de comparar las PPM analizadas, se definieron cuatro clases de índice de sitio: bajo (<16 m), medio (16-20 m), alto (20-24 m) y excelente (>24 m). Se encontró que las parcelas con crecimientos medios y altos corresponden al 60% del total, lo que refleja condiciones adecuadas de crecimiento (Figura 3, Cuadro 5).

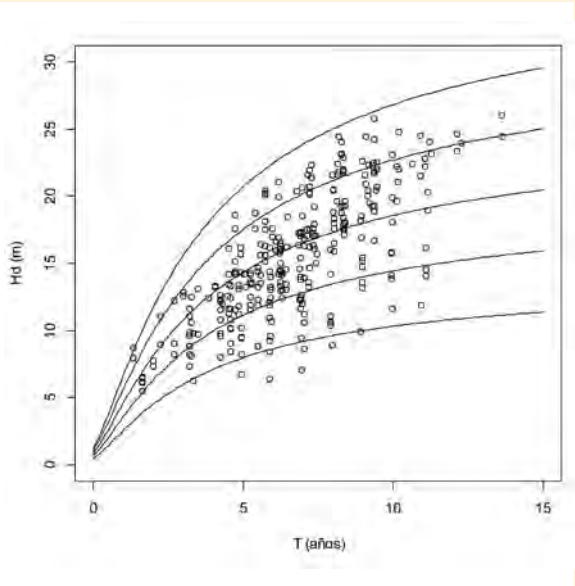

Figura 3. Curvas de índice de sitio estimadas para plantaciones de teca en diversas regiones de Guatemala.

Cuadro 5. Frecuencia de PPM por clase de sitio en plantaciones de teca

Clase de sitio	Índice de sitio (m)	Total de PPM	% de PPM
Bajo	<16	21	29,16
Medio	16 a 20	25	34,73
Alto	20 a 24	18	25,00
Excelente	> a 24	8	11,11
	Total	**72**	**100**

Resultado de InfoStat del modelo seleccionado

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.004_LN_Hd_1m_REML<-lme(LN_Hd_1m~1+I(T^(-1))
,random=list(PLOT=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varPower(form=~fitted(.)))
,method="REML"
,control=lmeControl(msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=R.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: modelo.004_LN_Hd_1m_REML

Variable dependiente: LN_Hd_1m

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
336	-340,94069	-321,88498	175,47034	0,86936	0,48673	0,83183

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	263	12588,22585	<0,0001
I(T^(-1))	1	263	705,30152	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	3,28972	0,03176	263	103,59226	<0,0001
I(T^(-1))	-3,41453	0,12857	263	-26,55751	<0,0001

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Fórmula: ~1|PLOT

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

	(const)
(const)	0,23222

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varPower

Fórmula: ~ fitted(.)

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
power	-2,18039

Literatura citada

Clutter, J.L.; Fortson, J.C.; Pienaar, L.V.; Brister, G.H.; Bailey, R.L. 1983. Timber management: A quantitative approach. Wiley & Sons.

Cojom, J. 2008. Informe de crecimiento y productividad inicial de plantaciones forestales beneficiarias del programa de incentivos forestales (Pinfor). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 127 p.

Di Rienzo, J.; Macchiavelli, R.; Casanoves, F. 2011. Modelos lineales mixtos: aplicaciones en InfoStat. Córdoba, Argentina, Grupo InfoStat.

Marmillod, D. 2012. La red de parcelas permanentes de medición forestal en plantaciones, bosque natural latifoliado y de coníferas en Guatemala. Diagnóstico del estado actual. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 49 p. (Serie Técnica. Boletín Técnico no. 58).

Mora, F.; Meza, V. s.f. Comparación del crecimiento en altura de la teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica con otros trabajos previos y en otras regiones del mundo (en línea). Snt. Disponible en: http://www.yoquese.com.ar/resources/external/material_probabilidad_y_estadistica/ComparaCrecTeca3.pdf

Schumacher, F. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. Journal of Forestry 37:819-820.

Vanclay, J. 1994. Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests. London, UK, CAB International. 312 p.

Recursos Naturales y Ambiente/no. 64: 33-36

Gestión de bases de datos forestales

Jenny Salgado[1]

Resumen

Se describe la importancia del diseño, gestión y los componentes de bases de datos forestales; los beneficios del manejo de información a través de bases de datos (acceso de los datos en tiempo real y por múltiples usuarios, disminuir la redundancia, integración de los datos, seguridad, sostenibilidad en el tiempo y el desarrollo de aplicaciones); los requerimientos y los componentes (lenguajes, metadatos, mecanismos de seguridad e integridad; factor humano) y finalmente, se indica la importancia de una política de acceso y uso.

Palabras claves: Investigación forestal; bases de datos; gestión de la información; almacenamiento de información; difusión de información; acceso a la información; políticas.

Abstract

Management of forest databases. This describes the importance of design, management and database components in forest research; the benefits of information management via databases (access to data in real time and by multiple users, decreased redundancy, integration of data, security, sustainability in time and development of applications); the requirements and the components (languages, metadata, security mechanisms and integrity; human factor), and finally, it points out the importance of a policy for access and use.

Keywords: Forestry research; databases; information management; storage; dissemination of information; access to information; policies.

1 Proyecto CATIE - Finnfor. jsalgado@catie.ac.cr

Introducción

En la investigación forestal, el uso de bases de datos ha venido tomando importancia debido a las ventajas que ofrece el mantener la información ordenada; entre ellas, que múltiples usuarios puedan hacer consultas en tiempo real y/o de manera simultánea mediante criterios previamente definidos.

Por lo general, los investigadores han almacenado la información en cientos o hasta miles de archivos de hojas de cálculo (Calc de OpenOffice, Excel de Microsoft Office…). Si bien este sistema ha sido de uso común durante muchos años, ya que permite ingresar, mantener y trabajar con todo tipo de datos (texto, numéricos, alfanuméricos y fórmulas), su principal limitación es el manejo de grandes cantidades de datos. Esta limitación se vuelve un serio impedimento cuando se trata de proyectos grandes y complejos, o de investigaciones a largo plazo. Asimismo, una colección de archivos no es una base de datos, toda vez que, por definición, la BD requiere de un sistema de administración de los datos.

Actualmente existen programas de administración de datos con licencia libre, tales como MySQL, DBF Viewer 2000, phpMyAdmin y PostgreSQL 8.3.3. Estos programas permiten no solo almacenar información sino también ordenar los procesos de diseño, actualización, consulta y mantenimiento de la información en la BD. Estos procesos son los más importantes y frecuentes en la administración de una base de datos.

La creación de una base de datos se inicia con el diseño; para esta etapa del proceso se deben considerar todos los datos disponibles de una investigación. Con frecuencia, el diseño se convierte en un serio reto, ya que por lo general hay que realizar pasos adicionales de comprobación de los datos y/o completar información perdida, inexistente o inaccesible. En la página en internet de MySQL se ofrece información detallada acerca de cómo crear y utilizar una BD (http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/database-use.html).

La administración de la información mediante un sistema apropiado de bases de datos ofrece ventajas significativas, ya que en tan solo unos segundos –y mediante criterios de búsqueda previamente definidos se puede recuperar información antes ingresada, buscar y encontrar experimentos particulares, o metadatos y variables. Este manejo ágil de la información permite hacer análisis puntuales de los datos obtenidos.

Bases de datos relacionales

Por principio, toda investigación busca colectar y/o generar datos. Tradicionalmente, la forma más práctica de recopilar y almacenar la información han sido las tablas y cuadros de datos creados mediante hojas de cálculo que se almacenan en archivos independientes. Si bien el conjunto de archivos constituye un banco de datos, no es una base de datos relacional. Para conformar una base de datos relacional es necesario que los datos que pertenecen a un mismo contexto estén referenciados entre sí (Sánchez 2004). Es decir, una base de datos relacional es una colección de registros, archivos y otros objetos que son almacenados y organizados de tal manera que se reconozcan sus interrelaciones para facilitar el acceso.

Cada BD está compuesta por registros subdivididos en campos. En el diseño de la base de datos es necesario definir de previo los registros y los campos que la van a conformar. En esta etapa es importante considerar los tipos de datos que se van a ingresar en cada campo. Existen muchos tipos de datos, aunque los más comunes son numérico, carácter, fecha y lógico.

Desde la etapa de diseño es también importante que se definan las tablas de referencia, tablas independientes y las interrelaciones entre tablas. El administrador debe conocer muy bien la estructura de la BD para garantizar el buen manejo y mantenimiento. Los sistemas actuales de bases de datos poseen distintas herramientas que permiten ver, de manera gráfica, el diseño de la BD, las relaciones entre tablas, las llaves primarias y foráneas y, en general, la estructura completa de la BD.

Por medio de archivos independientes es posible detectar algunos problemas, tales como aumento en la redundancia, inconsistencia de datos, aislamiento de datos, seguridad. Se recomienda utilizar sistemas de bases de datos para minimizar o evitar estos problemas.

Beneficios que aporta un sistema de base de datos

En años recientes, al mejorar el acceso a internet y con el desarrollo de aplicaciones, ha cobrado relevancia el uso de BD, en comparación con la administración de la información en archivos independientes. Quiroz (2003) y Codd (1970) destacan los siguientes como los principales beneficios que se obtienen con el manejo de información por medio de BD.

- *Acceso:* una BD permite el acceso en tiempo real y por múltiples usuarios; a través de internet se puede ingresar desde cualquier parte del mundo. Esta característica es muy favorable en el caso de organizaciones e investigadores que requieren acceder a la información al mismo tiempo y fuera de la oficina.
- *Disminución de la redundancia:* la información almacenada en archivos independientes puede albergar redundancias entre los datos; es decir, que un mismo dato esté almacenado en dos o más lugares, lo que causa inconvenientes a la hora de actualizar los datos,

e inconsistencias en los análisis. Además, se desperdicia espacio de almacenamiento.

- *Integración de los datos:* cuando los datos se mantienen dentro de una estructura ordenada, como una BD, las consultas toman menos tiempo y recursos, ya que se basan en criterios de búsqueda previamente determinados. En un proceso de recuperación de datos de diversas fuentes, la búsqueda se hace en una fuente a la vez y luego hay que unificarlas, con el agravante de que no siempre se tiene información compatible y/o comparable.
- *Seguridad:* con el fin de asegurar la integridad de los datos, los usuarios de una BD disfrutan de privilegios diferenciados, pero también de restricciones de edición o eliminación.
- *Duración:* la información almacenada en una BD puede ser reconocida por nuevas versiones del sistema de administración de bases de datos; esto asegura la sostenibilidad en el tiempo.
- *Desarrollo de aplicaciones:* mediante el acceso a los datos almacenados se pueden crear aplicaciones que ayudan a visualizar, modificar o manipular la información.

Requerimientos para establecer una base de datos

Para que un sistema de bases de datos pueda ejecutarse correctamente es necesario tomar en cuenta los siguientes requerimientos:

- *Tamaño:* los sistemas de bases de datos utilizan mucho espacio en el disco duro y también en la memoria principal (ram) de la unidad de cómputo.
- *Personal calificado:* para entender las capacidades y limitaciones de la BD, el administrador debe tener formación en programación.
- *Costo:* generalmente las licencias de *software* de gestión de datos son costosas. Afortunadamente, ahora es posible tener acceso a programas libres que no generan costos fijos.
- *Instalación de equipo:* al adquirir una licencia de un programa para administrar una BD, también es importante adquirir equipo adicional como servidores, memorias, discos duros, etc.
- *Rentabilidad:* debido a la inversión necesaria en equipos, capacitación del personal y tiempo, la BD tarda cierto tiempo en estar operativa.

Sistema de administración de bases de datos

Según Ramos *et al.* (2006), los sistemas de administración de bases de datos permiten a los usuarios acceder y manipular la información; a los administradores, les ofrecen las herramientas necesarias para ejecutar tareas de mantenimiento y administración de los datos.

Las principales funciones de un administrador de datos, según Ramos *et al.* (2006), son las siguientes:

- Diseñar la BD; es decir, cómo se va a almacenar y organizar la información.
- Crear la BD y verificar el almacenamiento de datos en la base de datos.
- Recuperar datos mediante consultas y reportes.
- Actualizar los datos cuando sea necesario y cambiar los contenidos de la BD.
- Programar aplicaciones que mejoren la consulta a los datos por parte de los usuarios.
- Controlar la integridad de la BD.
- Monitorear el comportamiento de la BD para asegurar el acceso a los usuarios.

En la actualidad existen muchos programas y lenguajes de programación de bases de datos; entre ellos, MySQL, SQL Server, PostgreSQL, Access, Oracle, Fox Pro. Estos productos difieren en precio, rendimiento, facilidad de administración de bases de datos, accesibilidad y funcionalidad; al seleccionar el *software* más adecuado se deben considerar todas las particularidades.

Componentes de un sistema de bases de datos

En prácticamente cualquier BD actual interactúan cuatro elementos esenciales:

- *Lenguajes:* si bien existen diversos lenguajes de programación de bases de datos, el más común es el lenguaje de consulta estructurado (Structured query language SQL). Este lenguaje permite especificar las operaciones que se pueden realizar entre las tablas relacionadas mediante:
  - El lenguaje de definición de datos (*Data definition language* DDL) permite crear la estructura de la BD, considerando todos los objetos que se pueden incluir. Mediante los comandos CREATE, DROP y ALTER es posible definir la estructura de la BD.
  - El lenguaje de manipulación de datos (*Data manipulation language* –DML) permite consultar y manipular la información depositada en la BD. A este lenguaje pertenecen los comandos SELECT, INSERT, UPDATE y DELETE.
  - El lenguaje de control de datos (*Data Control Language* –DCL) permite asignar privilegios a los usuarios, confirmar o abortar transacciones. Estas operaciones responden a los comandos GRANT y REVOKE.
- *Metadatos:* este es el diccionario que contiene toda la información acerca de los datos; por ejemplo, la definición de todos los objetos de la BD, las columnas de cada tabla, vistas, procedimientos, ubicación física de los objetos y espacio asignado. También es posible incluir los privilegios, restricciones y roles asignados a los usuarios.
- *Mecanismos de seguridad e integridad:* por medio de este elemento se

asegura la ejecución de copias de seguridad de los datos, la protección de los datos ante accesos no autorizados y la recuperación de datos en caso de error del sistema, o cualquier otra situación imprevista.

- *Factor humano:* este elemento permite definir diferentes roles:
  - Usuarios finales que pueden tener acceso a la información sobre la cual tengan privilegios.
  - Programadores que crean aplicaciones con los objetos de la BD para los usuarios finales.
  - Administradores que garantizan el correcto funcionamiento de la BD y gestionan todos sus recursos. Tienen el nivel más alto de privilegios y responsabilidades legales en caso de que los datos estén legalmente protegidos.

Política de acceso a datos contenidos en una BD

En la gestión de una base de datos es necesario proteger y controlar el uso de los datos contenidos para evitar pérdidas, uso indebido o alteración de la información. El uso de información científica debe estar ligado a una política de acceso y uso de datos, la cual permita al administrador controlar el buen uso de la información y garantice la seguridad de los datos.

El principal objetivo de la investigación científica es la divulgación y promoción de la información que se genera por medio de los estudios y experimentos establecidos. En años recientes se han generado políticas que norman el acceso y uso de los datos, siempre buscando un equilibrio apropiado entre el reconocimiento de la autoría de esfuerzos de investigación, por un lado, y el acceso y el uso de los datos, por otro.

En general, las políticas de acceso y uso de los datos toman en cuenta los aspectos siguientes:

- *Definición de los datos:* se especifica el tipo de datos que se incluyen en la base de datos; por ejemplo, datos económicos, sociales, ecológicos, etc.
- *Definición de la propiedad de los datos:* se detalla los tipos de usuarios, permisos y restricciones para el uso de los datos. También se norma la distribución de los datos por parte del usuario.
- *Menciones y créditos:* se reconoce la propiedad intelectual; para ello se explicita la fuente de donde se obtuvieron los datos. Cualquier intercambio de datos entre investigadores no implica el otorgamiento de derechos para publicar dichos datos.

Conclusiones

Las bases de datos relacionales constituyen una herramienta clave para organizaciones e investigadores que generan grandes cantidades de información científica. Estas BD representan colecciones de datos integrados por registros, archivos y otros objetos que son almacenados y estructurados de modo que se interrelacionen y sean de fácil acceso. Una base de datos relacional facilita el ingreso, consulta, manipulación y distribución efectiva de datos a múltiples usuarios.

Bibliografía

Codd, E. 1970. A relational model of data for large shared databanks. dbf viewer plus 1.5. Reference manual. http://www.programas-gratis.net/b/manual-dbf-viewer-plus-1.5

MySQL 5.6 Reference Manual, Including MySQL Cluster NDB 7.3 Reference Guide. http://dev.mysql.com/doc/phpMyAdmin Reference Manual. http://www.phpmyadmin.net/home_page/index.php

PostgreSQL 8.3.3. Reference Manual. http://www.postgresql.org/docs/8.3/interactive/

Quiroz, J. 2003. El modelo relacional de bases de datos. Boletín de Política Informática 6: 53-61.

Ramos, M.J.; Ramos, A.; Montero, F. 2006. Sistemas gestores de bases de datos. España. McGrawHill. 457 p.

Sánchez, J. 2004. Principios sobre bases de datos relacionales. Creative Commons. 32 p. http://www.jorgesanchez.net/bd/bdrelacional.pdf

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.

CATIE

Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Sede Central 7170 CATIE, Turrialba, Costa Rica
Tel. (506) 2558-2312 • Fax: (506) 2558-2051

www.catie.ac.cr