



DAÑOS AL BOSQUE BAJO DIFERENTES SISTEMAS SILVICULTURALES E INTENSIDADES DE APROVECHAMIENTO FORESTAL EN DOS BOSQUES TROPICALES DE BOLIVIA



Documento Técnico No. 1

Octubre 2006
SANTA CRUZ DE LA SIERRA - BOLIVIA

DAÑOS AL BOSQUE BAJO DIFERENTES SISTEMAS SILVICULTURALES E INTENSIDADES DE APROVECHAMIENTO FORESTAL EN DOS BOSQUES TROPICALES DE BOLIVIA

AUTORES

Bonifacio Mostacedo^{1, 6}, Marielos Peña-Claros¹, Alfredo Alarcón¹,
Juan Carlos Licona¹, Calvin Ohlson-Kiehn², Scott Jackson³,
Todd S. Fredericksen⁴, Francis E. Putz⁵ y Geoffrey Blate⁵

INSTITUTO BOLIVIANO DE INVESTIGACION FORESTAL (IBIF)



Documento Técnico # 1

Correspondencia de autores:

¹ Instituto Boliviano de Investigación Forestal (IBIF), Casilla # 6204, Santa Cruz, Bolivia

² Department of Natural Resources, Washington, USA.

³ Ontario Forest Research Institute, Toronto, Canada

⁴ 212 Garber Hall Ferrum College, Ferrum VA 24088, USA

⁵ University of Florida, P.O. Box 118526, Gainesville, FL 32611, USA

⁶ Forest Ecology and Management Group, Wageningen University,
P. O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands

Octubre 2006
SANTA CRUZ DE LA SIERRA – BOLIVIA

Copyright©2006 by
Instituto Boliviano de Investigación Forestal (IBIF)

Edición: Fabiola Clavijo (TNC)

Diagramación
Barbián Comunicación

Citación bibliográfica: Mostacedo, B., M. Peña-Claros, A. Alarcón, J. C. Licona, C. Ohlson-Kiehn, S. Jackson, T. S. Fredericksen, F. E. Putz y G. Blate. 2006. Daños al bosque bajo diferentes sistemas silviculturales e intensidades de aprovechamiento forestal en dos bosques tropicales de Bolivia. Documento Técnico # 1. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

El Instituto Boliviano de Investigación Forestal (IBIF) recibe financiamiento de BOLFOR II, un proyecto de manejo forestal sostenible financiado por USAID y ejecutado por The Nature Conservancy (TNC).



Agradecimientos

Los autores agradecen a la Agencia de de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, al Proyecto BOLFOR II por su financiamiento al realizar el trabajo de campo, y a la Universidad de Wageningen por el apoyo financiero para el análisis y escritura de este documento. Agradecemos a Marisol Toledo y Lourens Poorter por sus sugerencias y recomendaciones para mejorar este documento. Agradecemos también a las empresas La Chonta e INPA Forest por habernos permitido instalar las parcelas experimentales. Finalmente, agradecemos a todos los asistentes de campo (materos) que ayudaron en el mantenimiento de las parcelas y a los estudiantes que ayudaron a tomar los datos.

Tabla de Contenido

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Área de estudio	8
Diseño de estudio	9
Tratamientos aplicados a las parcelas	10
Toma de datos	11
Evaluación pre y post aprovechamiento	11
Árboles de Futura Cosecha (AFC)	12
Evaluación de Pistas	13
Análisis de datos	13
Resultados	14
Descripción general del aprovechamiento	14
Pistas de aprovechamiento vs. Tratamientos e intensidad de aprovechamiento	16
Tipo de Daño a los Árboles Producido por el Aprovechamiento	18
Daño a los árboles en relación a la intensidad d aprovechamiento y área de pistas	22
Daño a los Árboles de Futura Cosecha (AFC)	24
Discusión	26
Conclusiones	29
Bibliografía citada	30

Resumen

El aprovechamiento forestal produce impactos en la vegetación causando daños a árboles del bosque remanente por medio de la apertura de caminos, de pistas de arrastre y de la caída de árboles cortados y varía según la intensidad de aprovechamiento o la aplicación de tratamientos silviculturales. Por lo tanto el objetivo de este estudio es determinar el impacto del aprovechamiento bajo diferentes intensidades de aprovechamiento y aplicación de tratamientos silviculturales en dos tipos de bosques tropicales en Bolivia. Para ello, se hicieron levantamientos de caminos y pistas de arrastre, se midieron los daños producidos a los árboles de las distintas especies, así como el daño a los árboles de futura cosecha (AFC). Se determinaron daños según categorías diamétricas y en relación a la apertura e intensidad de aprovechamiento. Se determinó que hay una tendencia a que en el bosque sub-húmedo se tenga mayor daño que en el bosque seco. El daño y muerte de árboles fue similar entre los tratamientos aplicados. Al contrario, los árboles juveniles sufrieron mayor daño que los adultos. Respecto al daño causado a las distintas partes de los árboles, el 20-45% del total de árboles dañados tuvieron daños en la raíz, 73-78% en el fuste y 42-58% en la copa. Las especies que más daño sufrieron fueron *Hura crepitans* en el bosque sub-húmedo y *Anadenanthera macrocarpa* en el bosque seco. A medida que se incrementa la intensidad de aprovechamiento se incrementa también el porcentaje de daño, aunque cuando hay una alta intensidad, la tasa de incremento de daño se reduce. El porcentaje de AFC muertos fue similar entre tratamientos, aunque hay una tendencia mayor en el intensivo. Por último, el porcentaje de pistas se incrementa a medida que aumenta la intensidad de aprovechamiento. En conclusión, el aprovechamiento selectivo que se hace en estos dos tipos de bosque produce daños menores en comparación a otros sitios. Asimismo, los datos indican que incrementando la intensidad, el daño a la biomasa todavía puede ser aceptable. Finalmente, la marcación de AFC y corta de lianas puede ayudar a disminuir el daño a los árboles por las actividades de aprovechamiento; estas prácticas silviculturales deben estar acompañadas con una buena planificación de apertura de pistas de arrastre y corta dirigida.

Palabras Clave: aprovechamiento forestal, Bolivia, bosques tropicales, daño a árboles, intensidad de aprovechamiento.

Abstract

Timber harvesting disturbs forest stands by causing death or damage of trees and other plant life forms as well as by creating soil disturbance by the creation of logging roads, skid trails, and logging decks. Other silvicultural treatments, such as vine cutting, liberation of crop trees, and soil scarification to promote regeneration, cause additional disturbance. The intensity of harvesting and application of other silvicultural treatments should produce differing levels of disturbance to forests. The objective of this study was to determine the relative disturbance impact of three silvicultural systems that employ differing levels of harvesting intensity and application of silvicultural treatments in two different tropical forest types (sub-humid tropical forest and tropical dry forest) in Bolivia. Silvicultural systems included normal reduced-impact logging without additional silvicultural treatments; reduced-impact logging with additional silvicultural treatments, such as vine cutting and tree girdling to liberate future crop trees; and more intensive harvesting (2-3x the level of other treatments) with more intensive liberation treatments along with soil scarification to promote regeneration of disturbance-adapted timber species. These three different treatments were replicated in three blocks. Treatments within each block were randomly assigned to one of three 20-27 ha plots. Harvesting and silvicultural treatments had a greater impact on the sub-humid forest than the dry forest. Increased intensity of harvesting and other treatments increased mortality and damage to trees, but at reduced increments with increasing intensity of treatments. Tree damage and mortality increased significantly with increasing area occupied by skid trails. The percentage of area damaged by skid trails was significantly higher in the intensive harvesting treatment, but only for one class of skid trail (secondary skid trails) and one forest type (sub-humid forest). The area disturbed by logging gaps was significantly higher in intensive treatment in the sub-humid forest type, but not for the dry forest type. Despite different levels of disturbance, mortality of future crop trees was similar among the three silvicultural systems, probably due to marking of future crop trees in intensively-treated plot. Despite differences in disturbance and damage among treatments, the silvicultural systems used created less damage in these forests compared to other types of harvesting in the tropics.

Key words: Timber harvesting, Logging damage, Bolivia, Tropical forest, Silviculture

Introducción

Como consecuencia de la nueva Ley Forestal (MDSP 1996), en Bolivia se han logrado grandes avances en manejo forestal (Fredericksen et al. 2003) y la presencia de un movimiento activo para la certificación forestal en el país. Esto ha hecho que Bolivia sea un modelo para la certificación del manejo de bosques tropicales naturales (Nittler & Nash 1999). Sin embargo, dentro de los avances en manejo forestal, la silvicultura de bosques naturales es aún incipiente y, a menudo, se restringe sólo al aprovechamiento selectivo planificado regido por diámetros mínimos de corta y cierto grado de corta de bejucos previo a la cosecha (Fredericksen 2000, Fredericksen et al. 2003). El aprovechamiento selectivo de especies maderables está determinado por la demanda en el mercado, siendo que actualmente se aprovechan en Bolivia un mayor número de especies. Un aumento en la intensidad del aprovechamiento resulta en un mayor impacto en el bosque.

En numerosos estudios se ha documentado el daño causado por el aprovechamiento selectivo en el país (Gullison & Hardner 1993, Gullison et al. 1996, Pinard & Putz 1996, Fredericksen 1998, Mostacedo & Fredericksen 1999, Fredericksen & Licona 2000, Jackson et al. 2002). En otros países con bosques tropicales se ha investigado el impacto de aprovechamiento (Uhl & Vieira 1989, Bertault & Sist 1997, van der Hout 2000), especialmente para ver las diferencias entre aprovechamiento convencional y aprovechamiento de impacto reducido (Bertault & Sist 1997).

Por otro lado, varias prácticas silviculturales han sido investigadas, incluyendo sistemas de aprovechamiento (Alarcón 1999), corta de bejucos (Perez-Salicrup 2001), quemadas controladas (Kennard 2000), liberación de la regeneración (Pariona et al. 2003) y mejora de rodales maderables (Pariona 2001). No obstante, estos experimentos han sido de pequeña escala y su aplicación al manejo forestal operativo queda por comprobarse. Lo que queda por hacer es evaluar el impacto, al bosque o especies en particular, del aprovechamiento forestal en combinación con la aplicación de tratamientos silviculturales para reducir estos daños, considerando gradientes de intensidad de aprovechamiento. Sería interesante disponer de los umbrales de intensidad de aprovechamiento, lo cual ayudaría a tomar decisiones de aprovechar más, produciendo menor daño al bosque.

Este estudio, bajo un diseño que incluye la aplicación de sistemas silviculturales y el aprovechamiento bajo distintas intensidades, intenta determinar los daños que se producen al bosque en dos tipos de bosque tropical de Bolivia: bosque seco y sub-húmedo. Los objetivos de este estudio fueron:

- a) determinar el porcentaje de árboles muertos y dañados bajo distintos tratamientos silviculturales e intensidad de aprovechamiento
- b) relacionar el área perturbada por pistas con los distintos tratamientos de sistemas silviculturales y la intensidad de aprovechamiento
- c) determinar la magnitud de daño a las diferentes partes de los árboles, y
- d) determinar el daño a los árboles de futura cosecha (AFC).

Área de estudio

Este estudio fue realizado en un bosque sub-húmedo y en un bosque seco en el oriente de Bolivia. El primer área de estudio se encuentra en la Concesión Agroindustrial La Chonta (de aquí en adelante la Chonta), que esta ubicado en la provincia Guarayos del departamento de Santa Cruz (15°47'S, 62°55'W, Figura 1). La concesión tiene 100,000 hectáreas de superficie. Esta concesión ha sido certificada por buen manejo forestal que se viene realizando desde 1998. La vegetación de La Chonta esta clasificada como un bosque sub-húmedo con una precipitación promedio de 1532 mm/año y con una época seca de 4-5 meses. La temperatura promedio es de 24.5 °C. Alrededor del 50% de los árboles en la época seca son deciduos, con alturas de 20 a 30 m y árboles emergentes hasta de 42 m. Para árboles mayor a 10 cm de DAP existen en promedio 59 especies/ha, con una densidad de 368 árboles/ha y un área basal promedio de 20 m³/ha las especies abundantes del dosel superior y emergentes son *Ficus boliviana*, *Hura crepitans* y *Cariniana ianeirensis* (mientras que del dosel intermedio son *Pseudolmedia laevis* y *Ampelocera ruizii* (Peña et al., en prep.). Las lianas son abundantes y dominantes en áreas perturbadas y el 70% de los árboles tienen lianas (Alvira 2002).

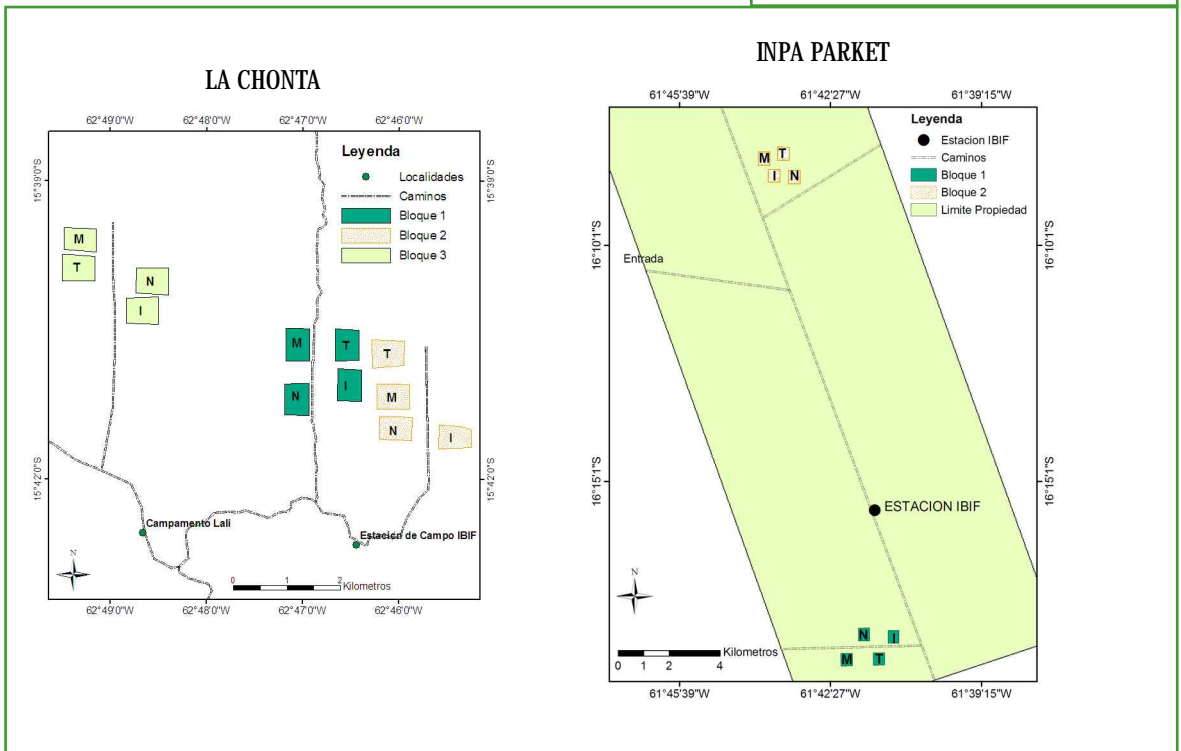


Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de estudio.

El otro sitio de estudio se encuentra en la propiedad privada INPA Forest (de aquí en adelante INPA), que esta ubicado a 30 km. NE de Concepción, en la provincia Ñuflo de Chávez, del departamento de Santa Cruz (16°6'S, 61°43'W, Figura 1). INPA tiene 30,000 ha de superficie y también esta certificada bajo los estándares del Consejo Mundial Forestal (FSC) desde 1997. La vegetación del área es denominada bosque semidecuido chiquitano (Beck et al. 1993) (en este documento se denominará como el bosque seco). Tiene una precipitación promedio de 1100 mm./año y una temperatura de 24.3 °C. La época seca es de 5 meses (mayo a octubre) y durante este tiempo el 90% de los árboles son deciduos. Para árboles mayor a 10 cm DAP existen en promedio 34 especies/ha, con una densidad de 437 árboles/ha y un área basal promedio de 19.7 m³/ha la altura del dosel superior es de 20 a 25 m y las especies abundantes son *Anadenanthera macrocarpa*, *Centrolobium microchaete* y *Caesalpinia pluviosa* (Peña et al., en prep.). Una especie muy dominante del dosel intermedio es *Acosmium cardenasii*. En estos bosques el 77% de árboles tienen lianas, aunque solo el 35% están cubiertos totalmente (Carse et al. 2000).

Diseño de Estudio

El diseño del estudio está enmarcado dentro del establecido en el Proyecto de Investigación Silvicultural a Largo Plazo (PISLP). Estas parcelas fueron establecidas por el Proyecto BOLFOR y el IBIF. Las parcelas del PISLP han sido instaladas mediante un diseño aleatorio de bloque completo, con 4 tratamientos que varían en su intensidad de aprovechamiento y tratamientos silviculturales (ver Cuadro 1 y Figura 2 para resumen de los tratamientos aplicados).

Cuadro 1. Resumen de los diferentes tratamientos aplicados en las parcelas del PISLP. (‡) En estos casos el tratamiento silvicultural se aplicaron solo a las especies comerciales; en cambio en las parcelas intensivo (*) se aplico tanto a especies comerciales y potenciales. Ver texto para más detalles.

Tratamientos	Control	Normal	Mejorado	Intensivo
Aprovechamiento de impacto reducido	No	Si	Si	Si
Árboles semilleros	100%	20%	20%	20%
Intensidad de aprovechamiento (#/ha)	Nada	Normal	Normal	Doble
Marcación árboles de futura cosecha (AFC)	No	No	Si [‡]	Si*
Corta de bejucos en AFC	No	No	Si [‡]	Si*
Liberación de AFC con anillamiento	No	No	Si	Si
Escarificación de suelo	No	No	No	Si
Mejora de rodales	No	No	No	Si

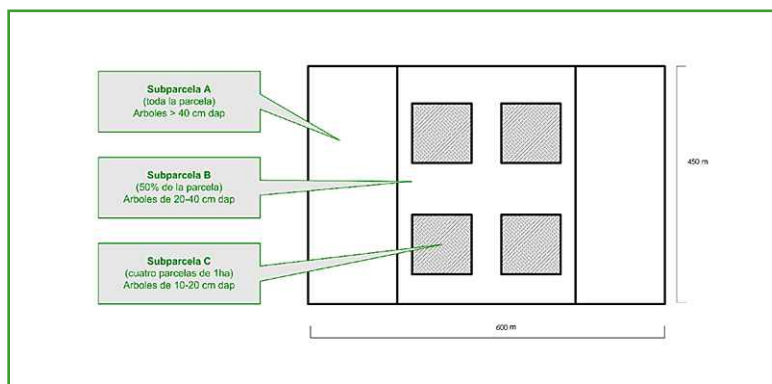


Figura 2. Diseño anidado de las parcelas experimentales instaladas en las áreas de estudio.

Las parcelas tienen una superficie aproximada de 27 ha en el bosque sub-húmedo (450x600 m) y de 20 hectáreas en el bosque seco (400x600 m). Estas parcelas fueron ubicadas en las diferentes áreas de aprovechamiento anual (AAA) definidas por cada empresa (Figura 2). Primero, se delinearon cuatro áreas en el terreno, usando el mapa generado por el censo forestal para seleccionar de esta manera sitios similares en densidad de árboles aprovechables, tipos de vegetación y topografía. Posteriormente, se asignaron al azar los tratamientos a aplicarse en los sitios seleccionados. Los sitios donde se colocarían las parcelas testigo fueron asignados subjetivamente, a fin de maximizar el área de bosque no intervenido para tener una mayor área de amortiguamiento.

Tratamientos aplicados a las parcelas

Los tratamientos que se aplicaron representan alternativas de intensidad de aprovechamiento y sistemas silviculturales (ver Cuadro 1 para resumen de los tratamientos aplicados). Estos tratamientos son:

Tratamiento Testigo.- Las parcelas de este tratamiento no han sido aprovechadas, aunque se cortaron algunos bejucos en los árboles aprovechables. La corta de bejucos fue realizada por el personal de cada empresa durante los censos forestales realizados en las AAA, un año antes del aprovechamiento. Puesto que se usaron las AAA previamente censadas para ubicar los bloques, esta intrusión en los testigos fue inevitable. Típicamente, sólo habían 1 a 2 árboles comerciales por hectárea, y los trabajadores cortaron entre 1 a 4 bejucos en cada árbol.

Tratamiento Normal (Aprovechamiento Normal).- Las parcelas que recibieron este tratamiento fueron aprovechadas de acuerdo al sistema actual de extracción de cada empresa. Este sistema incluye: (a) planificación de caminos y aprovechamiento basado en un censo de árboles comerciales; (b) aprovechamiento de árboles superiores al límite diamétrico (en el bosque sub-húmedo generalmente 50 cm de DAP pero 70 cm para *Hura crepitans*, *Swietenia macrophylla* y *Ficus boliviana*; y en el bosque seco generalmente 40 cm de DAP); (c) 20% de los árboles comerciales mayores al límite diamétrico son dejados como semilleros y como factor de seguridad para asegurar que habrá suficientes árboles para el segundo ciclo de corta; (d) corte de bejucos en

árboles comerciales; y (e) corta dirigida, principalmente para reducir el riesgo de accidentes y facilitar la extracción de troncas, aunque también se consideró la disminución de daños a los árboles circundantes.

Tratamiento Mejorado (Aprovechamiento con Baja Silvicultura).- Las parcelas con este tratamiento han recibido las operaciones descritas para el tratamiento normal, y adicionalmente se les aplicó los siguientes tratamientos: (a) marcado, antes del aprovechamiento de árboles de futura cosecha (AFC) de las especies actualmente extraídas en cada empresa; (b) corte de todos los bejucos situados en el fuste o la copa de los AFC; (c) liberación de AFC de árboles no-comerciales que les den sombra. Se define como AFC a los árboles con excelente o buena calidad de fuste y copa, con diámetro a la altura del pecho (DAP) > 10 cm y menor al diámetro mínimo de corta (DMC).

Tratamiento Intensivo (Aprovechamiento con Mucha Silvicultura).- Las parcelas con este tratamiento reciben todas las operaciones del tratamiento mejorado, y adicionalmente se les aplicó los siguientes tratamientos: (a) marcado adicional de AFC, corte de bejucos y liberación de especies de árboles no comerciales para las especies de menor valor o potenciales; (b) el doble de intensidad de aprovechamiento para lo cual se incluye la extracción de especies menos conocidas que actualmente no son aprovechadas por las empresas; (c) tratamientos de mejora de rodales que incluyen el anillado, con motosierra y herbicida, de todas las especies arbóreas no comerciales con DAP mayor a 40 cm, exceptuando especies importantes para la fauna, como ser las de *Ficus* y *Spondias mombin*; y (d) escarificación intencional del suelo en claros de aprovechamiento usando “skidder”, en el momento de la extracción de las troncas (Fredericksen & Pariona 2002).

Toma de Datos

Evaluación pre y post-aprovechamiento

Previo al aprovechamiento, los árboles de todas las parcelas fueron inventariados mediante un diseño anidado (Figura 2). Los árboles con DAP mayor a 40 cm fueron inventariados en toda la parcela (subparcela A). Los árboles con DAP entre 20 y 40 cm fueron inventariados en la mitad de la parcela (subparcela B). Los árboles con DAP entre 10 y 20 cm fueron inventariados en cuatro parcelas de 1 ha (subparcela C). Las palmeras se inventariaron en parcelas de diferente tamaño según su altura: las palmeras mayores a 9 m. de altura en la subparcela A, las palmeras de 6 a 9 m de altura en la subparcela B y las de 3 a 6 m de altura en la subparcela C. Las parcelas cuentan con una grilla de sendas que facilitan las mediciones periódicas y mapeo de árboles. En total fueron monitoreados en La Chonta 40997 árboles y en INPA 25910 árboles.

En el lado sur de cada árbol inventariado, existe una placa a 20 cm de donde se midió el DAP. Cada árbol fue mapeado mediante un sistema de coordenadas (x, y). Los siguientes datos fueron recolectados para cada árbol: especie, DAP, estimación de la altura total y altura comercial (altura hasta la primera rama), posición de copa, forma de la copa (Dawkins 1958), calidad del fuste, infestación por bejucos (categorías, %) y estado sanitario del árbol y del fuste. La ubicación de la medida del DAP es marcado con pintura para facilitar la exactitud y precisión de las mediciones.

Luego del aprovechamiento se determinó el número de árboles aprovechados en cada tratamiento, se contaron todos los tocones, a los cuales se les reconoció el DAP y la altura comercial inicial, y se utilizaron para determinar el volumen aprovechado de cada individuo y especie. También en la fase post-aprovechamiento se evaluaron todos los árboles muertos o dañados en todas las categorías diamétricas, a causa del aprovechamiento. Al mismo tiempo, en todos los árboles que sufrieron algún tipo de daño se evaluaron los niveles de daños producidos en sus diferentes partes (copa, fuste y raíz).

El daño a la copa se evaluó en tres categorías: “sin daño”, copas intactas; “daño leve”, con 1 a 50% de la copa dañada; y “daño severo”, con 51 a 100% de la copa dañada. El daño al fuste se evaluó tomando en cuenta el tamaño de las heridas y se consideraron las siguientes categorías: “sin daño”, árboles con fuste sin heridas; “heridas pequeñas”, con heridas superficiales y menores a 0.04 m²; “heridas grandes”, con lesiones mayores a 0.04 m² en superficie. El daño a las raíces se clasificó como: “sin daño”, árboles que no presentaban ninguna lesión en la raíz producido por la maquinaria; “con daños superficiales”, cuando se dañaron los garrones u otras raíces por el paso de la maquinaria; “raíces expuestas”, cuando la mayor parte de las raíces estaban rotas y expuestas debido a la caída del árbol.

Árboles de Futura Cosecha (AFC)

Para determinar el efecto de los distintos tratamientos silviculturales en el daño y muerte de los árboles de futura cosecha (AFC), estos fueron marcados con pintura azul a 2-2.5 m de altura. Esto con la finalidad de que el operador de “skidder” pueda visualizar y evitar dañar a este grupo de árboles.

En el tratamiento mejorado se marcaron individuos de especies comerciales, mientras que en el tratamiento intensivo se adicionaron otras especies potenciales. En el bosque sub-húmedo de La Chonta se marcaron como AFC a individuos con DAP de aproximadamente 10 cm y el DMC de 14 especies y dentro de las especies potenciales se consideró a otras 8 especies adicionales. A su vez, en el bosque seco de INPA se marcaron como AFC a 10 especies comerciales y 5 especies potenciales. Después del aprovechamiento de las parcelas, se evaluaron los daños y mortalidad de los AFC. Un AFC dañado se consideró a aquel que en alguna parte de la raíz, fuste o copa estuvo maltratado por causa del paso del skidder o por la caída de un árbol aprovechado. Un AFC muerto se consideró a aquel individuo que después de algunos meses ya no tenía signos de vida.

Evaluación de Pistas

En cada tipo de bosque, bloque y parcela se hicieron censos de todas las pistas de extracción, midiéndose el largo y ancho total de las pistas. Las pistas fueron clasificadas en tres tipos: primarias, secundarias y terciarias. Las pistas primarias fueron aquellas que interceptaban dos o más pistas secundarias y por donde se extraían entre 5-10 árboles. Las pistas secundarias fueron aquellas por donde se extrajeron de 2-5 árboles. Finalmente, las pistas terciarias fueron aquellas por donde se extrajo un solo árbol. El porcentaje de cada tipo de pista fue obtenido en relación a la superficie total del área aprovechada para cada tratamiento. Se estimó el porcentaje del área total que representaba cada tipo de pista de arrastre en los distintos tratamientos.

Análisis de datos

Se hizo un análisis general del aprovechamiento en los distintos tratamientos aplicados. Para esto se obtuvieron promedios y errores estándar del número de árboles y volumen aprovechado por hectárea. El número de árboles aprovechados por hectárea fue considerado como la intensidad de aprovechamiento en cada parcela. También se calcularon los volúmenes aprovechados para las principales especies maderables.

Además, se calcularon los porcentajes de árboles dañados o muertos en todas las parcelas y con distintos tratamientos. Para determinar el efecto del tipo de tratamiento en el daño y mortalidad de árboles se hicieron análisis de co-varianza (ANCOVA); se utilizó las categorías diamétricas como co-variable. Se calculó el daño según las categorías diamétricas. También, se calculó el porcentaje de árboles dañados en distintas partes de cada árbol (raíz, copa, fuste) tomando en cuenta también la magnitud del daño.

El porcentaje de árboles muertos y dañados fue relacionado con la intensidad de aprovechamiento, en términos de número de árboles y volumen, y con el área total de pistas creadas en cada una de las parcelas. Para ello se hicieron regresiones lineales o no-lineales simples, o un modelo inverso, para el total de árboles, así como también para cada tipo de bosque. Se obtuvieron los coeficientes de determinación y se hicieron los análisis de varianza para determinar la significancia de estos modelos, para lo cual se utilizó un error de 5%.

El porcentaje de AFC dañados y muertos fue calculado en función al total de árboles dañados y muertos. Para cada tratamiento y en cada tipo de bosque y especies, se calcularon los promedios de porcentajes de AFC dañados y muertos en base al número de parcelas en cada tipo de bosque. Se hicieron ANCOVAS, donde el factor fue la aplicación de los tratamientos de manejo y la intensidad de aprovechamiento fue considerada como una co-variable. Se hicieron análisis de regresión para determinar los incrementos del porcentaje de AFC dañados y muertos según el incremento de la intensidad de aprovechamiento.

También se hicieron análisis de regresión logística para determinar la probabilidad de daño en árboles de 10 a 50 cm de DAP marcados y no marcados. Los árboles marcados fueron de aquellos individuos de especies aprovechadas en el tratamiento mejorado (especies comerciales) e intensivo (especies comerciales y potenciales). En cambio los árboles no-marcados fueron aquellos individuos de especies en el tratamiento normal (especies comerciales y potenciales) y el tratamiento mejorado (especies potenciales).

Se calcularon las áreas alteradas según los tipos de pistas de aprovechamiento, de los cuales se obtuvieron los promedios y errores estándares para cada tratamiento y en cada tipo de bosque. Para determinar el incremento de áreas alteradas en relación a la intensidad de aprovechamiento en cada parcela, se hicieron análisis de regresión no-lineal utilizando el modelo inverso en ambos tipos de bosque. Se hizo un análisis de regresión múltiple y correlación de Pearson para determinar que clase de perturbación es la que estaría más relacionada con la intensidad de aprovechamiento. Las clases de perturbación consideradas fueron: claros, pista primaria, pista secundaria y pista terciaria.

Resultados

Descripción general del aprovechamiento

El aprovechamiento entre los dos tipos de bosques fue diferente en densidad y volumen extraído. En términos de densidad, en el bosque sub-húmedo se extrajo un promedio de 2.8 árboles/ha, en cambio en el bosque seco en promedio se extrajo 5.5 árboles/ha. Esta diferencia en densidad de árboles extraídos, entre tipos de bosque, fue significativamente diferente ($F=15.9$, $P=0.03$). Asimismo, el número de árboles aprovechados varió entre los tratamientos (Figura 2). Tanto en el bosque sub-húmedo como en el seco se aprovecharon, en el tratamiento intensivo, el doble comparado a los tratamientos normal y mejorado. El número promedio de árboles aprovechados entre ambos fue similar.

Por otro lado, el volumen aprovechado en los dos tipos de bosque fue a la inversa que la densidad. En el bosque sub-húmedo se extrajo un volumen promedio de 11.4 m^3/ha , mientras que en el bosque seco se extrajo un volumen promedio de 5.5 m^3/ha ($F=5.9$, $P=0.03$). En el tratamiento intensivo del bosque seco se extrajo más que en los demás tratamientos (Figura 3). En cambio en el bosque sub-húmedo el volumen aprovechado fue similar y alto en el normal e intensivo.

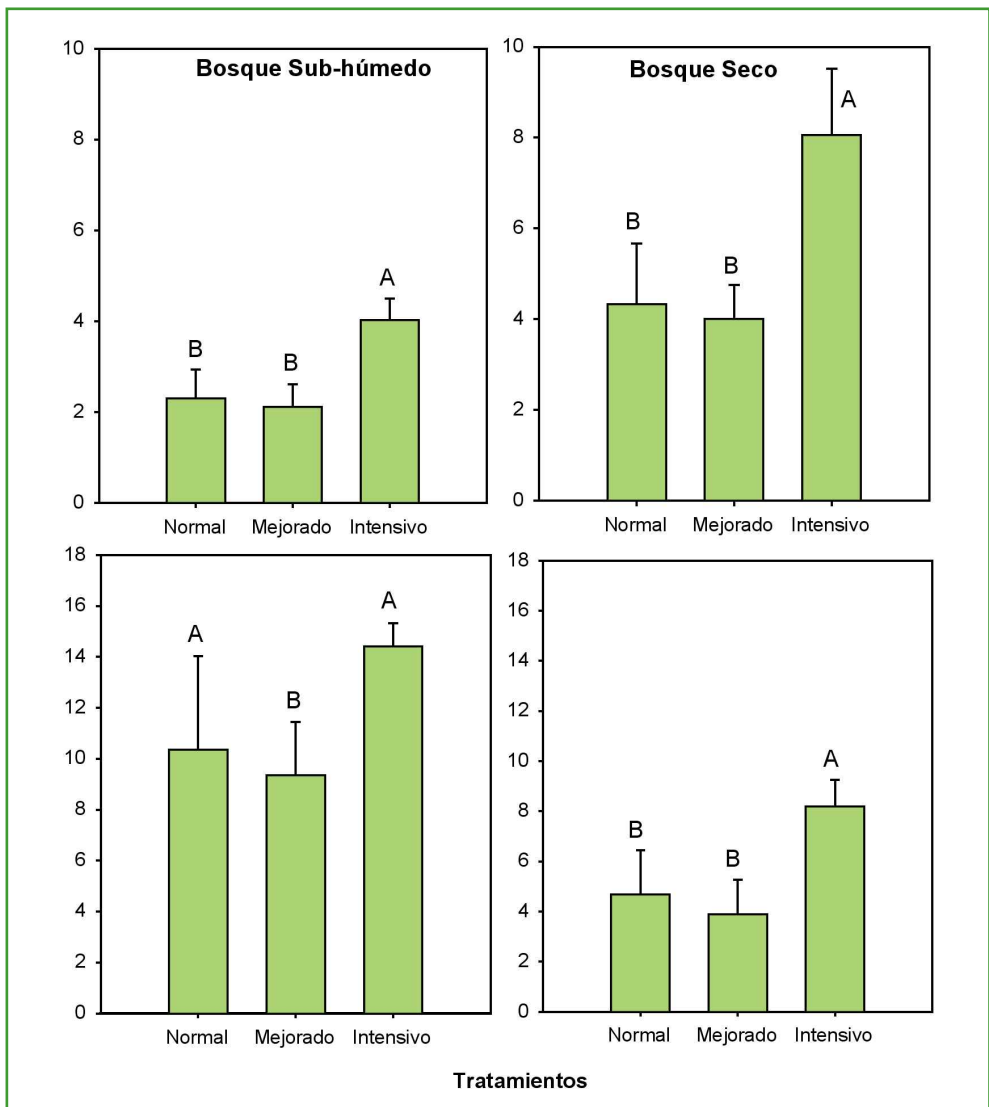


Figura 3. Descripción general del aprovechamiento maderable (número de árboles y volumen aprovechado) en dos tipos de bosque basado en tres parcelas de 27 ha en bosque sub-húmedo para cada tratamiento y dos parcelas de 20 ha en bosque seco. Se muestra promedios y 1 error estándar. Letras diferentes significan diferencias significativas entre tratamientos utilizando la prueba de comparación de medias de LSD y con un error de 5%.

En el bosque sub-húmedo de La Chonta se aprovecharon 21 especies de los cuales 20 fueron aprovechadas en el tratamiento intensivo, 12 en el mejorado y 11 en el normal. En el bosque seco de INPA, se aprovecharon 18 especies de los cuales 15 fueron aprovechadas en el tratamiento intensivo y 10 en el mejorado o normal.

Pistas de aprovechamiento vs. Tratamientos e intensidad de aprovechamiento

El porcentaje de pistas varió según el tipo bosque y el tratamiento aplicado en cada parcela (Figura 4). En general, en el bosque seco hubo menos porcentaje de pistas primarias (1.1%) y más pistas secundarias (2.2%) comparado al bosque sub-húmedo (pistas primarias: 2.1%, $F=11.9$, $p=0.004$; pistas secundarias: 0.92, $F=24.5$, $p=0.0003$). En ambos tipos de bosque, el porcentaje de pistas primarias, terciarias y cuartas fue similar entre los tratamientos. En cambio, las pistas secundarias variaron dependiendo del tratamiento. En el bosque sub-húmedo el porcentaje de pistas secundarias en el intensivo fueron el doble a los otros tratamientos, mientras que en el bosque seco los porcentajes fueron similares entre tratamientos. El porcentaje de área alterada por los claros en el bosque sub-húmedo (6.8%) fue más del doble al del bosque seco (2.3%) y fue significativamente diferente ($F=16.4$, $p=0.001$). El porcentaje de claros en el bosque sub-húmedo fue mayor al del mejorado, pero igual al normal, en tanto que en el bosque seco los porcentajes fueron similares.



▶ Perturbaciones producidas por la actividad forestal. Claros de aprovechamiento producidos por la caída de un árbol cortado.

▶ Patios de acopio en un bosque seco. La creación de patios de acopio deben ser no más de los necesarios.



▶ Ejemplo de daño producido a la copa de árboles. La tala de árboles no dirigida puede producir daños severos a la vegetación remanente.

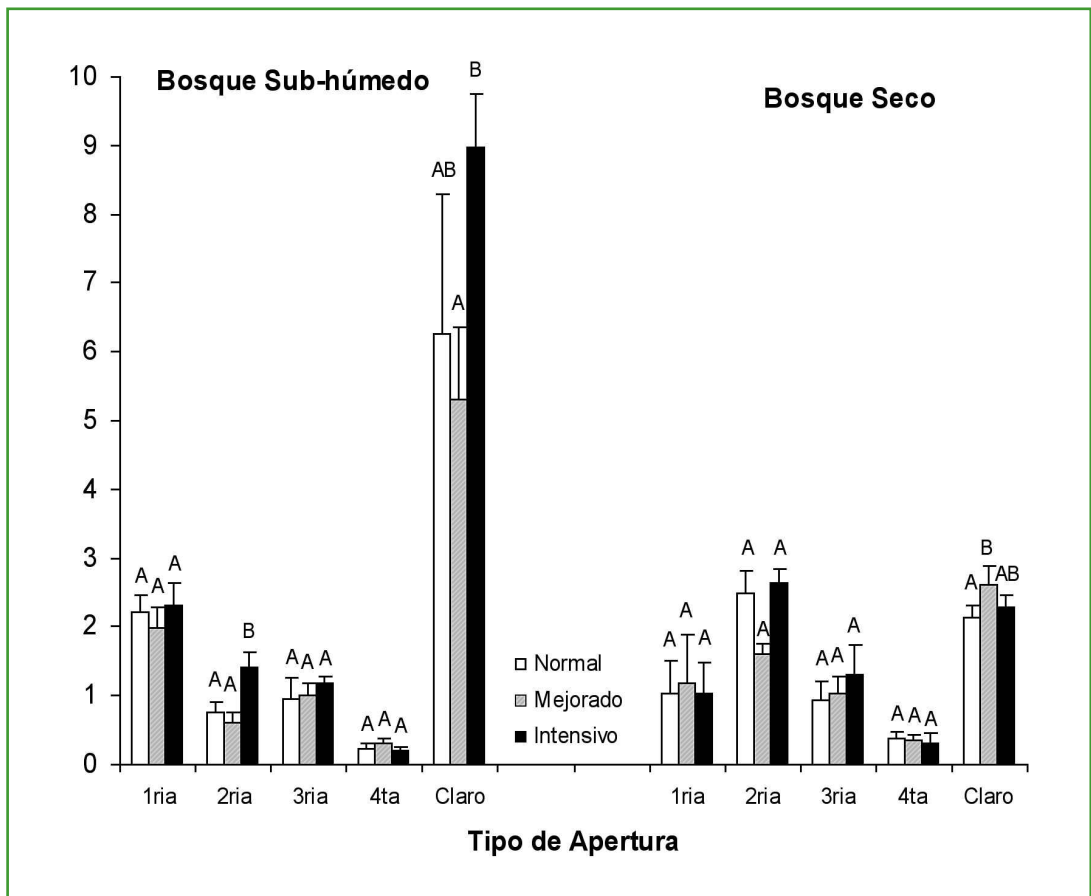


Figura 4. Porcentaje de áreas alteradas en diferentes tipos de apertura realizada en tres tratamientos de aprovechamiento en dos tipos de bosque. Letras distintas indican diferencias significativas con un error del 5% (comparación de medias por el método de LSD Fisher).

Existe una relación no-lineal entre el total de área alterada por pistas con la intensidad de aprovechamiento (Figura 5). En ambos tipos de bosque la relación es similar, aunque en el bosque sub-húmedo fue estadísticamente más significativo que en el bosque seco. La relación indica que a medida que se incrementa la intensidad de aprovechamiento hay un incremento en el área alterada por pistas de extracción, pero a intensidades altas el área alterada tiende a estabilizarse. También se puede notar que en el bosque seco, debido a la intensidad de aprovechamiento, hubo mayor área abierta por pistas (3.7-5.6 ha) comparado al bosque sub-húmedo (0.6-1.73 ha).

El análisis de regresión múltiple indica que la relación entre la intensidad de aprovechamiento y la superficie de las distintas áreas abiertas por diferentes clases de perturbación es más evidente en el bosque sub-húmedo que en el seco. En el bosque sub-húmedo la superficie de claros y pistas secundarias están significativamente correlacionadas con la intensidad de aprovechamiento. Del total de las variables (97.6%), los claros y las pistas secundarias explican el 92.2%. Sin embargo en el bosque seco estas correlaciones no son evidentes ni significativas y la explicación total de las variables apenas llega al 58% y algunas de estas tiene una correlación negativa.

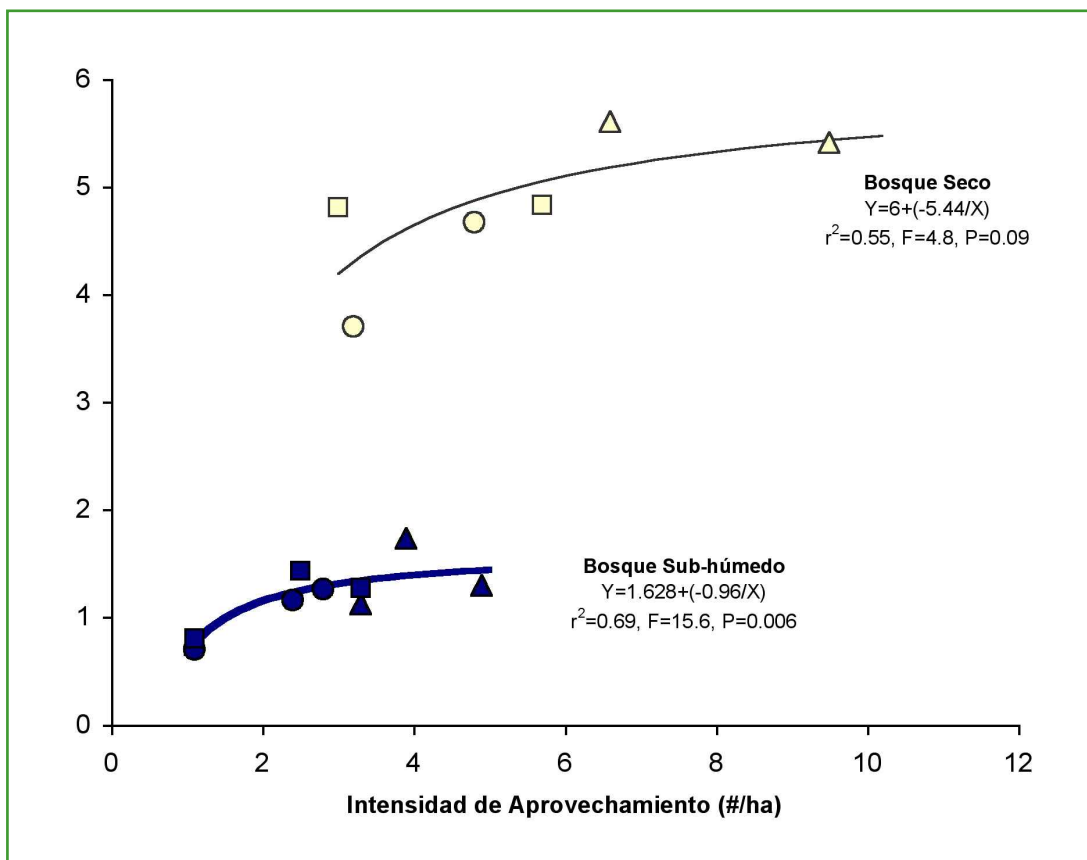


Figura 5. Área total de pistas en relación a la densidad de árboles aprovechados en parcelas con distintos tratamientos y en dos tipos de bosque. Para determinar esta relación se hizo un análisis de regresión no-lineal y en este caso se aplicó el modelo inverso (ver fórmula).

Tipo de Daño a los Árboles Producido por el Aprovechamiento

El porcentaje de árboles dañados varió según los tratamientos y las categorías diamétricas. En promedio el bosque sub-húmedo tuvo similar porcentaje de árboles muertos o dañados (7.8%) en comparación al bosque seco (8.2%) ($F=2.1, P=0.15$). En ambos tipos de bosque, tomando en cuenta las categorías diamétricas como co-variable, se determinó que el porcentaje de muerte o daño de árboles fue similar en todos los tratamientos ($F=2.7, P=0.07$ para bosque sub-húmedo; $F=2.0, P=0.15$ para bosque seco), aunque hubo una tendencia que en el tratamiento intensivo pudiera haber mayor porcentaje de daño o muerte (Cuadro 2). El mayor porcentaje de árboles muertos o dañados, en ambos tipos de bosque, fueron de 10 a 30 cm de DAP (Figura 6). A medida que se incrementó el DAP el daño fue reduciendo (bosque sub-húmedo: $r^2=0.58, F=119.4, P<0.0001$; bosque seco: $r^2=0.63, F=68.8, P<0.0001$).

Cuadro 2. Resumen del total de árboles y total de AFC censados, árboles dañados o muertos y AFC dañados o muertos, en dos tipos de bosque bajo diferentes tratamientos de aprovechamiento.

Variables	Bosque Sub-humedo			Bosque Seco		
	Normal	Mejorado	Intensivo	Normal	Mejorado	Intensivo
Árboles censados	9918	9580	9911	6614	6509	5992
Árboles dañados o muertos	675	600	1020	346	482	598
% Árboles dañados o muertos	6.8	6.3	10.3	5.2	7.4	10.0
AFC censados	937	636	1016	824	358	482
AFC dañados o muertos	56	26	79	36	19	30
% AFC dañados o muertos	5.9	4.1	7.8	4.4	5.3	6.2

Referente al daño en la copa, entre el 50-70% del total de árboles dañados tuvieron algún grado de daño, estos porcentajes fueron similares entre ambos tipos de bosque ($t=1.43$, $p=0.17$) y tratamientos (Figura 7). Respecto al daño en el fuste, el 73-80% de árboles dañados tuvieron lesiones grandes ($> 4 \text{ cm}^2$) comparadas a las lesiones pequeñas. El porcentaje de lesiones grandes en el fuste fue similar en ambos tipos de bosque ($t=0.78$, $p=0.44$). Similar resultado se obtuvo al comparar los daños entre tratamientos (Figura 7).



- ▶ Pistas de arrastre producido por el paso de skidder. Pista primaria.

Pista secundaria. ◀



- ▶ El transporte de troncas de excesivo tamaño o volumen puede producir mayores daños a la vegetación remanente y al suelo.



Por otro lado, la proporción de raíces dañadas fue similar en ambos tipos de bosque ($t=0.21$, $p=0.83$). Aproximadamente un 20-45% del total de los árboles dañados tuvieron daños en la raíz, de los cuales la mayoría tenía raíces expuestas por encima de la superficie del suelo (Figura 7). En ambos tipos de bosque el porcentaje de árboles dañados en la raíz fue similar entre tratamientos, tanto en el grupo de árboles con raíces superficiales como en expuestas.

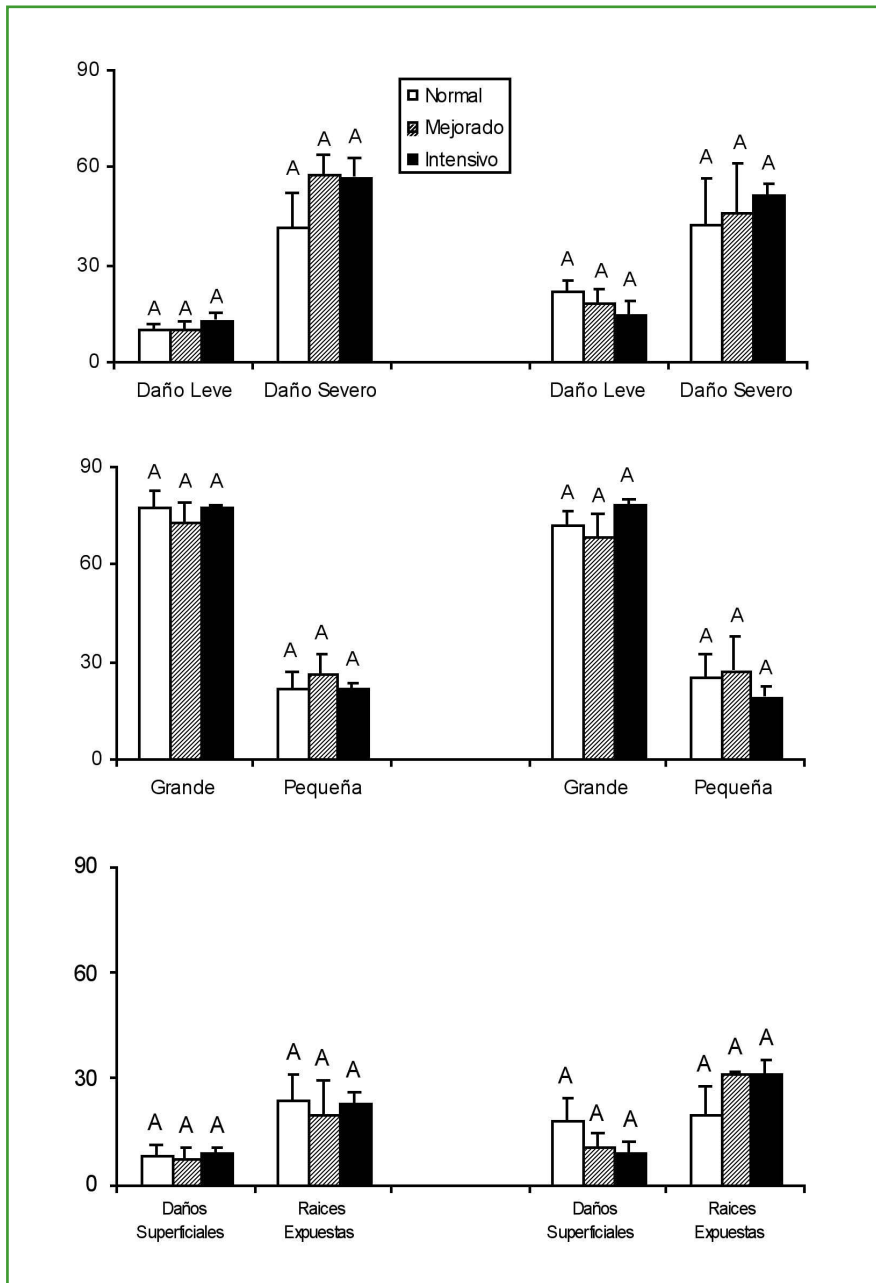


Figura 7. Porcentaje promedio de árboles dañados según la parte afectada (copa, fuste o raíz) en dos tipos de bosque y en diferentes tratamientos (ver mayores detalles en métodos). Se hicieron comparaciones de medias entre tratamientos por el método de LSD Fisher con un error de 5%.

El daño a nivel de especies, en el bosque sub-húmedo, *Hura crepitans* y *Terminalia oblonga* tuvieron mayor daño que otras especies comerciales. Este patrón se repitió en todos los tratamientos. En el bosque seco, *Anadenanthera macrocarpa* es una de las especies con mayor daño en todos los tratamientos. Sin embargo, otras como *Caesalpinia pluviosa* y *Centrolobium microchaete* tuvieron altos porcentajes de daño especialmente en el mejorado y normal.

Daño a los árboles en relación a la intensidad de aprovechamiento y área de pistas

La relación existente entre porcentaje de árboles muertos y dañados con la intensidad de aprovechamiento (#/ha o m³/ha) varía según el tipo de bosque (Figura 8). En el bosque sub-húmedo esta relación es lineal y positiva ($r^2=0.9$, $F=112.6$, $P=0.0001$). Esta relación es similar en los AFC ($r^2=0.49$, $F=6.76$, $P=0.03$). En cambio, en el bosque seco, la relación entre el número de árboles aprovechados, árboles muertos y dañados es distinta aunque es igual de positiva, sin embargo esta relación no es significativa ($r^2=0.42$, $F=2.9$, $p=0.16$). Se observa que el daño no aumenta más con un grado más alto de aprovechamiento. Este patrón es similar en los AFC, aunque de igual manera no significativo ($r^2=0.57$, $F=5.38$, $p=0.08$). Sin embargo, la relación entre el volumen aprovechado con el porcentaje de árboles dañados y muertos es lineal y positiva. Cabe notar que en el bosque sub-húmedo la máxima intensidad de aprovechamiento fue de 5 árboles/ha y 10 m³/ha con lo cual se dañó el 13% de árboles; en cambio, en el bosque seco la máxima intensidad de aprovechamiento fue de 11 árboles/ha y 17 m³/ha con lo cual se dañó sólo el 8% de árboles.

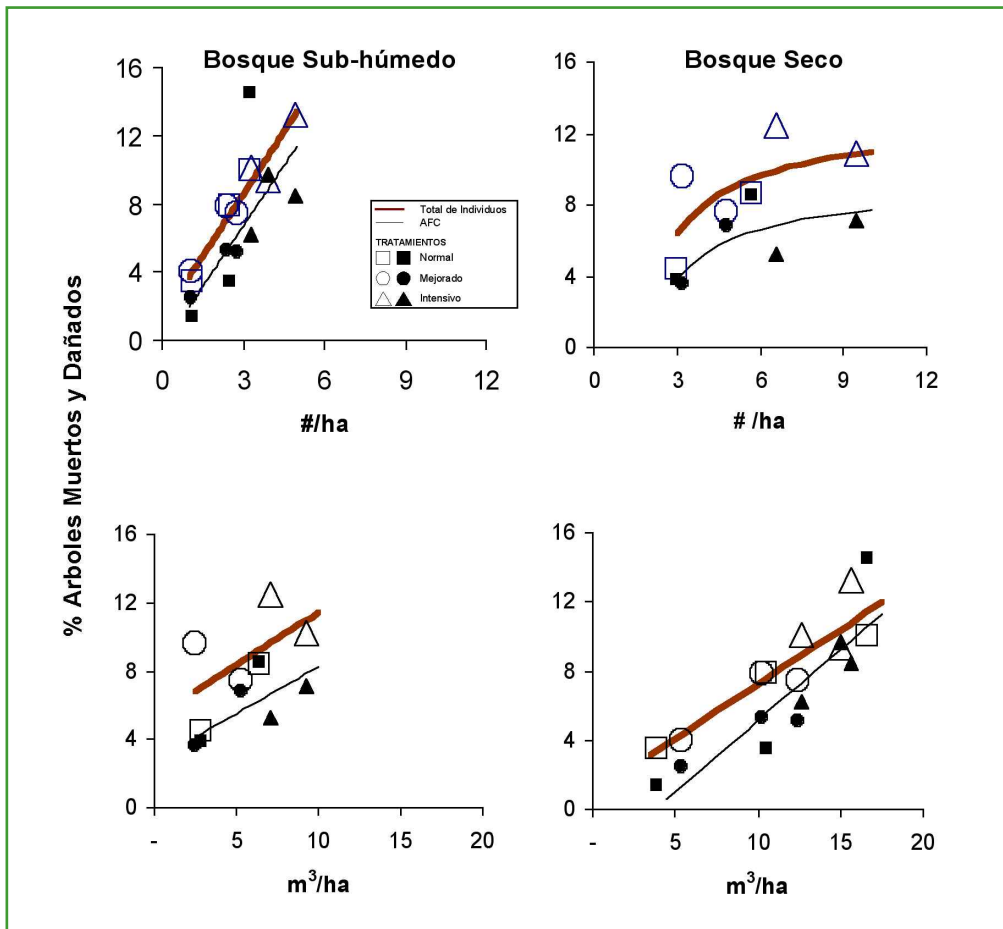


Figura 8. Porcentaje de árboles muertos y dañados, del total de árboles y del total de AFCs, con relación a su intensidad de aprovechamiento (#/ha y m³/ha) para dos tipos de bosque después de la aplicación de diferentes tratamientos.

Respecto a la relación existente entre el porcentaje de árboles muertos y dañados con el área total de pistas de extracción en cada parcela, los patrones son diferentes en los dos tipos de bosque. En el bosque sub-húmedo, se observa que a medida que se incrementa la superficie de pistas de extracción el porcentaje de árboles muertos y dañados también se incrementa y esta relación es altamente significativa. En el bosque seco, esta relación tiende a ser de la misma manera aunque no es significativa (Figura 9). En el bosque sub-húmedo el rango de área de pistas creada es pequeño (de 260-580 m²/ha) pero el % de árboles muertos y dañados cambia mucho. En cambio, en el bosque seco el rango de área aperturada para pistas oscila entre 1800 a 2750 m²/ha por parcela, pero el % de árboles muertos y dañados va cambiando levemente.

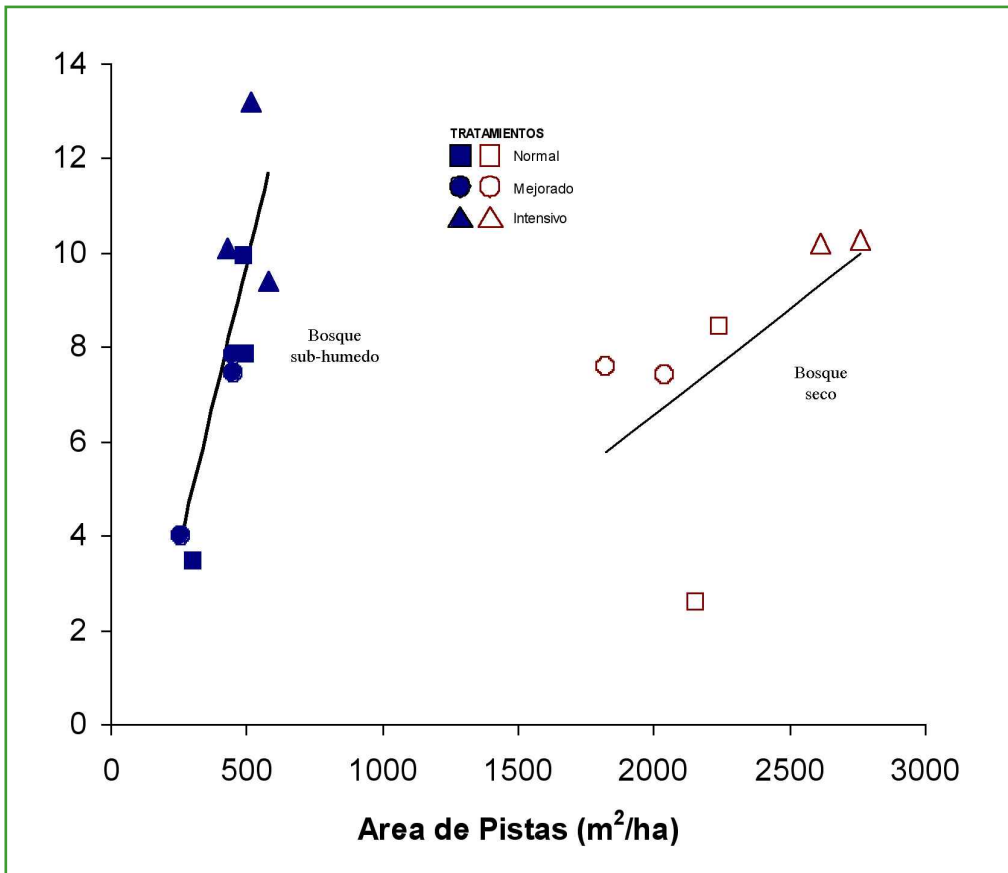


Figura 9. Porcentaje de árboles muertos y dañados en relación al área total de pistas abiertas en las parcelas donde se aplicaron diferentes tratamientos en dos tipos de bosque.



- ▶ El marcaje sencillo y rápido de árboles de futura cosecha (AFC) puede asegurar la sostenibilidad de la cosecha en el siguiente ciclo de corta.

Este árbol de futura cosecha a pesar de haber sido marcado sufrió daños en la corteza por el paso del skidder. ◀



- ▶ El transporte de troncas largas o por pistas de arrastre no planificados pueden producir daños a los árboles potenciales.

Daño a los Árboles de Futura Cosecha (AFC)

Los resultados del efecto del aprovechamiento en los AFC fueron separados en AFC dañados y AFC muertos (Figura 10). El porcentaje de AFC dañados fue similar tanto en el bosque sub-húmedo (4.77%) como en el bosque seco (4.1%, $t=0.45$, $p=0.65$). Similar patrón se observó en el porcentaje de AFC muertos (bosque sub-húmedo=1.5%; bosque seco=1.48%, $t=0.04$, $p=0.97$). Los resultados de ANCOVA, tomando en cuenta la intensidad de aprovechamiento, el porcentaje de AFC dañados o muertos fue similar entre tratamientos (ANCOVA, bosque sub-húmedo: $F=2.7$, $p=0.26$; bosque seco: $F=0.7$, $P=0.55$) (Cuadro 2).

El daño de AFC por grupos y especies varió según los tratamientos. En el bosque sub-húmedo, se encontró mayor proporción de árboles muertos y dañados de especies potenciales comparados a la de las especies comerciales; sin embargo, en el tratamiento mejorado se encontró mayor daño a las especies comerciales. En el bosque seco, al contrario, se encontró mayor muerte y daño de AFC de especies comerciales. En el tratamiento normal se dañaron y murieron el doble de porcentaje de árboles que en los otros tratamientos. En el tratamiento mejorado, el porcentaje de daño fue 10 veces mayor que para las especies potenciales.

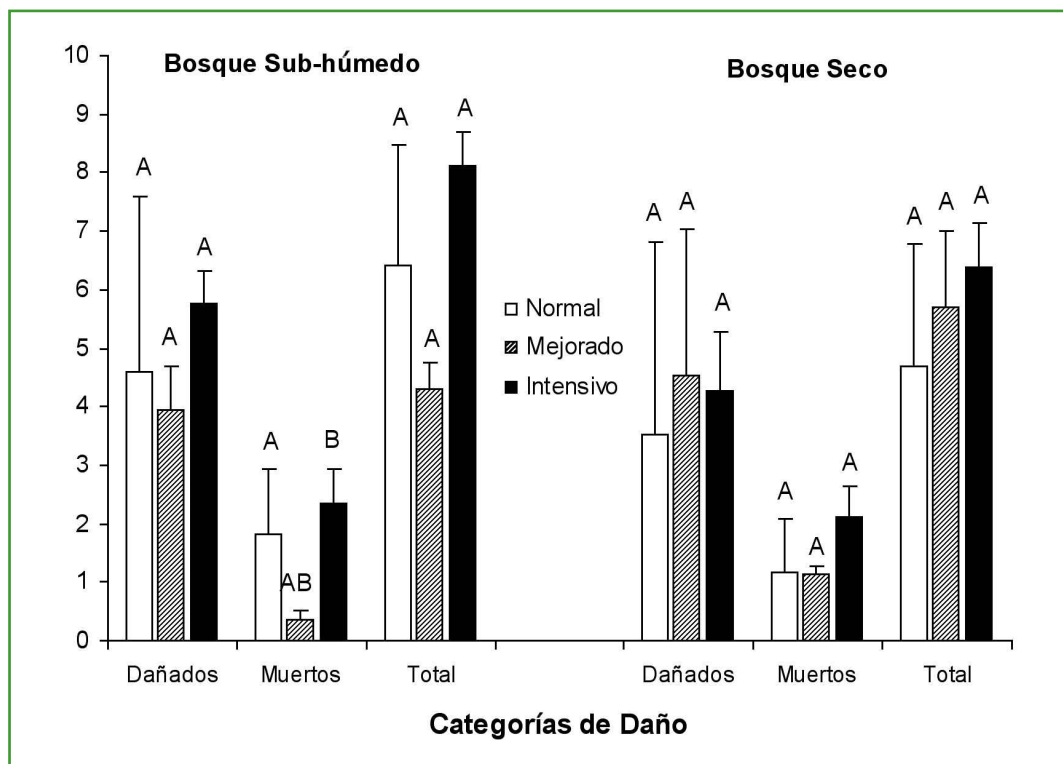


Figura 10. Porcentaje promedio de AFCs muertos o dañados en dos tipos de bosque y bajo diferentes tratamientos. Letras diferentes significan diferencias significativas con un error del 5% (Prueba de comparación de medias de LSD Fisher).

La probabilidad de daño entre árboles marcados vs. no marcados fue cerca del 10% en ambos tipos de bosque y esta probabilidad fue similar en ambos grupos de árboles (bosque sub-húmedo: log-likelihood=0.2, n=3903, p=0.66; bosque seco: log-likelihood=0.05, n=3710, p=0.82). Sin embargo, se puede notar que a menor diámetro la probabilidad de daño se va incrementando, especialmente en el bosque seco (bosque sub-húmedo: log-likelihood=0.02, p=0.6; bosque seco: log-likelihood=9.5, p=0.002).

A nivel de especies, en el bosque sub-húmedo *Hura crepitans* y *Terminalia oblonga* tuvieron mayor porcentaje de árboles muertos y dañados. Estas especies sufrieron mayor daño en el tratamiento normal. En el bosque seco, *Anadenanthera macrocarpa* y *Caesalpinia pluviosa* tuvieron mayor daño. *A. macrocarpa* tuvo mayor daño en el normal, en cambio *C. pluviosa* tuvo mayor daño en el tratamiento

Discusión

El diseño implementado para realizar este estudio es único en su naturaleza, el cual compara cuatro tipos de aprovechamiento bajo un gradiente de intensidad de aprovechamiento y con la aplicación de diferentes prácticas silviculturales. Esto también se hizo con la finalidad de medir el impacto del aprovechamiento forestal maderable en la biodiversidad a una escala comercial. Existen pocas parcelas de semejante magnitud (Sist. et al. 2003), lo cual hace que los datos obtenidos en este estudio sean más confiables. En Bolivia, las parcelas de una hectárea son insuficientes para evaluar el efecto del aprovechamiento puesto que las áreas anuales de aprovechamiento son muy grandes (> 1000 ha) y muchas veces las parcelas de 1 ha, por el mosaico de áreas intervenidas y no intervenidas que se genera en un bosque aprovechado, la mayoría de las parcelas llegan a instalarse en áreas no intervenidas. Por lo tanto, la información generada en las parcelas de 1 ha no refleja necesariamente el grado de impacto que podrían causar las actividades forestales en el bosque.

Los dos tipos de bosque donde se hizo el estudio muestran una baja intensidad de aprovechamiento comparado a otros bosques en el mundo (Johns 1988, Uhl & Vieira 1989, Pinard & Putz 1996, Bertault & Sist 1997, van der Hout 2000). Van der Hout (2000) muestra que la mayoría de los bosques tropicales aprovechados tienen intensidades mayores a 10 árboles/ha, en cambio los bosques estudiados están por debajo de este. Además, estos bosques han tenido un porcentaje de daño más bajo que en otros lugares, con la misma intensidad; esto es más notorio en el bosque seco. Por ejemplo, en Kalimantan, Indonesia el porcentaje de árboles dañados o muertos, bajo un manejo con impacto reducido y a una intensidad similar, fue por encima del 30% (Pinard & Putz 1996, Bertault & Sist 1997), mientras que en los sitios de estudio el máximo porcentaje fue del 15%. Esto significa que el aprovechamiento forestal en los bosques tropicales de Bolivia es de bajo impacto. Una explicación a esto es que los árboles en el área de estudio tienen bajo volumen de extracción y los árboles son de mediana altura comparados a los bosques de Indonesia y otros lugares asiáticos.

El daño a los árboles fue significativamente diferente según las categorías diamétricas ($F=72.3$, $p=0.0001$), aunque no necesariamente entre los tratamientos de manejo ($F=2.02$, $p=0.15$). Es evidente que el mayor porcentaje de individuos que sufrieron daño fueron los de diámetros menores. Dentro de estas categorías se encuentran también los AFC que sufrieron daños considerables. A pesar que no hubo diferencias significativas hay una clara tendencia de que en tratamiento intensivo hubo mayor muerte y daño de árboles, esta diferencia tiende a ser mayor a medida que se reduce el diámetro; esto se notó más en el bosque húmedo.

El daño producido por el aprovechamiento a las diferentes partes de un árbol varió según los tratamientos y la intensidad de daño. Si se analiza solamente niveles altos de daño producidos, sea en la copa o en la raíz, parece ser que cuando hay un aprovechamiento intensivo el porcentaje de árboles dañados se incrementa aunque no en la misma magnitud que la intensidad de aprovechamiento. Por ejemplo, el daño severo a la copa producida en el bosque sub-húmedo en el tratamiento normal fue para 25% de individuos, mientras que en el intensivo sólo fue para 35% de individuos.

En la raíz, en el mismo tipo de bosque, en el intensivo hubo menos % de individuos con daños severos comparado al normal. Nosotros asumimos que las prácticas silviculturales tales como corta de lianas, marcación de AFC, realizadas en el mejorado e intensivo, ayudaron a tener daños menos severos y de alguna manera también estarían ayudando a mantener la sanidad de los árboles.

El daño a las raíces puede tener efectos positivos o negativos. Uno de los efectos positivos puede ser que se este promoviendo el rebrote en algunas especies, especialmente en bosques secos, que al final serían estas las especies que tendrían mayor éxito de regeneración y crecimiento de nuevos individuos (Mostacedo, Observación Personal). Por ejemplo, *Centrolobium microchaete*, en ambos tipos de bosque, es una de las especies que rebrota muy bien a partir de raíces dañadas y las plántulas en su mayoría tienen este origen. Sin embargo, hay que tomar en cuenta también que los daños a las raíces o parte del fuste podrían causar la reducción en la tasa de crecimiento y tener mayor susceptibilidad al ataque de hongos (Vasiliauskas 2001) especialmente en bosques húmedos.

Es evidente que a medida que se aprovechan más individuos en un bosque la proporción de árboles muertos y dañados se va incrementando. Sin embargo, parece que esto puede variar según el tipo de bosque. En el bosque sub-húmedo donde la intensidad de aprovechamiento fue baja, la relación fue lineal. Hasta la intensidad máxima de aprovechamiento realizado en este bosque, especialmente en el intensivo, la línea no se estabiliza. En cambio, en el bosque seco, donde la intensidad de aprovechamiento fue mayor, la curva de incremento de árboles muertos y dañados tiende a estabilizarse, lo que quiere decir que a pesar de aprovecharse más individuos, el porcentaje de árboles dañados y muertos será similar. En el bosque sub-húmedo es posible que si se incrementa el número de árboles aprovechados la relación pueda ser similar al del bosque seco. Este tipo de resultados fue también encontrado por otros autores, en un bosque húmedo de Chimanes, Bolivia (Panfil & Gullison 1998), quienes sugieren que un aprovechamiento intensivo podría ayudar a tener mayor regeneración de especies comerciales manteniendo o incrementando muy levemente el grado de daño a la vegetación.

Asimismo, la relación entre porcentaje de árboles muertos y dañados con el área perturbada por pistas de arrastre difiere según el tipo de bosque. A pesar que las relaciones son lineales en ambos tipos de bosque, en el bosque sub-húmedo la relación es más fuerte comparado con el bosque seco. De todas maneras, los tratamientos intensivo y normal parecen tener mayor área de pistas comparado al mejorado. Una parcela de tratamiento normal, en cada tipo de bosque, tuvo el menor porcentaje de árboles dañados y muertos. Parece ser que la relación entre porcentaje de árboles muertos y dañados depende más de la intensidad de aprovechamiento ($F=9.3$, $p=0.09$) y no tanto del tipo de tratamiento aplicado en cada una de las parcelas ($F=2.77$, $p=0.26$).

¿La marcación de AFC significó menos muerte o daño? Al realizar el análisis de conjunto de AFC muertos y dañados no hubo una diferencia estadística entre los tratamientos, ya que la intensidad de aprovechamiento fue más importante y la que mejor se correlacionó. No obstante, las diferencias entre tratamientos fueron más evidentes cuando se analizaron el porcentaje de árboles muertos.

En ambos tipos de bosque el porcentaje de árboles muertos fue mayor en el tratamiento intensivo y menor en el mejorado. Krueger (2004) menciona que una buena planificación de pistas de arrastre conjuntamente con la marcación de AFC puede dar buenos resultados en cuanto a la reducción de daños, especialmente de especies comerciales.

Desde el punto de vista de grupos de especies y especies en particular, se esperaba que las comerciales sufrieran menos daño, especialmente en aquellos tratamientos donde hubo marcación de AFC. En el bosque sub-húmedo, efectivamente hubo menos daño a las especies comerciales que a las especies potenciales; esto ocurrió especialmente en el tratamiento intensivo. En el tratamiento normal, a pesar que no se marcaron los AFC, igual hubo menos porcentaje de daño a las especies comerciales. Al contrario en el bosque seco, en todos los tratamientos hubo mayor daño a especies comerciales que a las especies potenciales. En el bosque seco en comparación al bosque sub-húmedo, el hecho que los árboles, en su mayoría, son más abundantes y delgados (<80 cm DAP) pueda hacer que la marcación de AFC sea menos eficiente. Para el conductor de skidder le puede ser más difícil evitar dañar árboles en estas condiciones.

En relación a la apertura de pistas y otro tipo de perturbaciones, se esperaba que el mayor porcentaje de apertura total fuera en el tratamiento intensivo y efectivamente la tendencia fue esa, aunque no hubo diferencia significativa. El hecho de que no hubiera diferencias estadísticas probablemente se debe al número reducido de replicas, ya que numéricamente hay una gran diferencia entre los tratamientos. Referente a los claros, en el bosque sub-húmedo, hubo mayor porcentaje de área en el intensivo que los demás tratamientos, a pesar de que no fue la variable que estuvo más relacionada con la intensidad de aprovechamiento. Sin embargo en el bosque seco, el porcentaje de apertura por claros fue similar en todos los tratamientos pero estuvo altamente relacionado con la intensidad de aprovechamiento. El porcentaje de área por claros fue mayor en el bosque sub-húmedo, y esto se debe mayormente a que la mayoría de los árboles extraídos eran árboles grandes y frondosos como el caso de *Hura crepitans* y *Ficus boliviana*. En el bosque seco, los árboles son medianos y sus copas pequeñas.

Fue en las áreas alteradas por pistas secundarias donde se encontraron diferencias entre tratamientos, por ejemplo en el bosque sub-húmedo, en el tratamiento intensivo hubo mayor porcentaje de área alterada, pero al contrario, en el bosque seco, el normal e intensivo tuvieron porcentajes de área similares para las pistas secundarias. Similar estudio (Gullison & Hardner 1993) demuestra que el aumento de la intensidad de aprovechamiento de las áreas alteradas se deben más por la creación de pistas secundarias y claros.

Existe una tendencia que a mayor intensidad de aprovechamiento se pueda perturbar más el área. Sin embargo, existe la posibilidad que el área perturbada sea similar entre una alta e intermedia intensidad de aprovechamiento. Además, se puede decir que el usuario forestal podría aprovechar más intensivamente sin que eso signifique mayor perturbación del bosque. Para esto es necesario que se pueda realizar una buena planificación de aprovechamiento, especialmente de pistas secundarias y terciarias (Panfil & Gullison 1998).

Conclusiones

1. El daño a los árboles se incrementa a medida que se incrementa el área de pistas de arrastre. La tasa de incremento de daño es mucho más rápida en el bosque sub-húmedo que en el bosque seco.
2. Aprovechamiento más intensivo puede significar no necesariamente daños a la vegetación en la misma magnitud. Cuando el aprovechamiento es más intenso, el uso de los mismos caminos y pistas de arrastre hace que en proporción se disminuya el daño a la vegetación remanente de manera relativa.
3. El daño en las diferentes partes de los árboles ha sido relativamente mayor en parcelas con tratamiento intensivo, especialmente cuando se analiza la mayor severidad de daño.
4. La superficie de pistas de arrastre fue mayor en el bosque seco que en el sub-húmedo y se incrementa con la intensidad de aprovechamiento. El incremento tiende a estabilizarse a intensidades altas de aprovechamiento y en el bosque sub-húmedo la estabilización es a una menor intensidad.
5. La marcación de AFC puede ayudar en algunos casos a disminuir el daño a los árboles por las actividades de aprovechamiento; esta práctica silvicultural debe estar acompañada de una buena planificación de apertura de pistas de arrastre y corta de lianas.

Bibliografía Citada

Alarcón, A. 1999. Informe Técnico sobre el Aprovechamiento en Bosques de 100 ha en Amazonic. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia

Alvira, D. 2002. Liana loads and post-logging liana densities after liana cutting in a lowland forest in Bolivia. Master Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.

Beck, S. G., T. J. Killeen & E. E. García. 1993. Vegetación de Bolivia. pp. 6-23. En: T. J. Killeen, E. E. García & S. G. Beck (eds.). Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia y Missouri Botanical Garden, La Paz, Bolivia.

Bertault, J. G. & P. Sist. 1997. An experimental comparison of different harvesting intensities with reduced-impact and conventional logging in East Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 94: 209-218.

Carse, L. E., T. S. Fredericksen & J. C. Licona. 2000. Liana-tree species associations in a Bolivian dry forest. *Tropical Ecology* 41: 1-10.

Dawkins, H. C. 1958. The Management of Tropical High Forest with Special Reference to Uganda. Imperial Forestry Institute Paper No 34. University of Oxford.

Fredericksen, T.S. 2000. Logging and conservation of tropical forests in Bolivia. *International Forestry Review* 2: 271-278.

Fredericksen, T.S. & J. C. Licona. 2000. Encroachment of non-commercial tree species after selection logging in a Bolivian tropical forest. *Journal of Sustainable Forestry* 11: 113-123.

Fredericksen, T. S. 1998. Limitations of low-intensity selection and selective logging for sustainable tropical forestry. *Commonwealth Forestry Review* 77: 262-266.

Fredericksen, T. S. & W. Pariona. 2002. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gaps in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management* 171: 223-230.

Fredericksen, T. S., F. Putz, P. Pattie, W. Pariona & M. Pena-Claros. 2003. Sustainable forestry in Bolivia: beyond planned logging. *Journal of Forestry* 101: 37-40.

Gullison, R. E. & J. J. Hardner. 1993. The effects of road design and harvest intensity on forest damage caused by selective logging: Empirical results and a simulation model from the Bosque Chimanes, Bolivia. *Forest Ecology and Management* 59: 1-14.

Gullison, R. E., S. N. Panfil, J. J. Strouse & S. P. Hubbell. 1996. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. *Botanical Journal of the Linnean Society* 122: 9-34.

- Jackson, S. M., T. S. Fredericksen & J. R. Malcolm. 2002. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management* 166: 271-283.
- Johns, A. D. 1988. Effects of Selective Timber Extraction on Rain-Forest Structure and Composition and Some Consequences for Frugivores and Folivores. *Biotropica* 20: 31-37.
- Kennard, D. K. 2000. Regeneration of Commercial Tree Species Following Controlled Burns in a Tropical Dry Forest in Eastern Bolivia. Tesis de doctorado; University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- Krueger, W. 2004. Effects of future crop tree flagging and skid trail planning on conventional diameter-limit logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management* 188: 381-393.
- MDSP. 1996. Nueva Ley Forestal. Ley No 1700. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, La Paz, Bolivia
- Mostacedo, C. B. & T. S. Fredericksen. 1999. Regeneration status of important tropical forest tree species in Bolivia: assessment and recommendations. *Forest Ecology and Management* 124: 263-273.
- Nittler, J. B. & D. W. Nash. 1999. The certification model for forestry in Bolivia. *Journal of Forestry* 97: 32-36.
- Panfil, S. N. & R. E. Gullison. 1998. Short term impacts of experimental timber harvest intensity on forest structure and composition in the Chimanes Forest, Bolivia. *Forest Ecology and Management* 102: 235-243.
- Pariona, W. 2001. Regeneración natural después del aprovechamiento forestal en fajas a tala rasa en un bosque tropical boliviano. pp. 185-202. En: B. Mostacedo & T. S. Fredericksen (eds.). *Regeneración y Silvicultura de Bosques Tropicales en Bolivia*. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- Pariona, W., T. S. Fredericksen & J. C. Licona. 2003. Natural regeneration and liberation of timber species in logging gaps in two Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 181: 313-322.
- Perez-Salicrup, D. R. 2001. Effect of liana cutting on tree regeneration in a liana forest in Amazonian Bolivia. *Ecology* 82: 389-396.
- Pinard, M. A. & F. E. Putz. 1996. Retaining forest biomass by reducing logging damage. *Biotropica* 28: 278-295.
- Sist, P., R. Fimbel, D. Sheil, R. Nasi & M. H. Chevallier. 2003. Towards sustainable management of mixed dipterocarp forests of South-east Asia: moving beyond minimum diameter cutting limits. *Environmental Conservation* 30: 364-374.

Uhl, C. & I. C. G. Vieira. 1989. Ecological Impacts of Selective Logging in the Brazilian Amazon - a Case-Study from the Paragominas Region of the State of Para. *Biotropica* 21: 98-106.

van der Hout, P. 2000. Testing the applicability of reduced impact logging in greenheart forest in Guyana. *International Forestry Review* 2: 24-32.

Vasiliauskas, R. 2001. Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forests: a literature review. *Forestry* 74: 319-336.

Auspiciado por:

