

# Criterios de gestión forestal para 12 especies de los Bosques Nativos Tropicales de Bolivia a través de métodos dendrocronológicos

L. López<sup>1,\*</sup>, R. Villalba<sup>1</sup>

(1) Laboratorio de Dendrocronología, IANIGLA-CONICET. Casilla de Correo 330,5500 Mendoza Argentina

\* Autor de correspondencia: L. López [[lopez@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:lopez@mendoza-conicet.gob.ar)]

> Recibido el 02 de marzo de 2015 - Aceptado el 17 de junio de 2015

**López, L., Villalba, R. 2015. Criterios de gestión forestal para 12 especies de los Bosques Nativos Tropicales de Bolivia a través de métodos dendrocronológicos. *Ecosistemas* 24(2): 24-29. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-2.04.**

En este estudio se presenta información sobre las tasas de incremento radial, los Turnos Biológicos de Corte (TBC), los Periodos y Diámetros Óptimos de Corte (POC y DOC) para 12 especies forestales procedentes del Cerrado Boliviano. Los resultados de este estudio fueron comparados con las pautas de manejo establecidas por la Ley Forestal de Bolivia y las resultantes de la propuesta GOL (Growth-Oriented Logging). La mayoría de las especies estudiadas requieren edades superiores a los 100 años para alcanzar los TBC. Existen especies como *Anadenanthera colubrina* (Vell. Conc.) Benth que logran el DOC a los 34 cm y otras como *Hymenaea courbaril* L, a los 72 cm de diámetro. Las especies de mayor crecimiento alcanzan el POC a edades no menores a los 62 años mientras las de lento crecimiento necesitan más de 95 años. Los tiempos necesarios que requieren las especies para alcanzar un determinado diámetro son mucho mayores a los establecidos por la Ley Forestal. Estos resultados enfatizan la necesidad de adecuar las pautas de manejo forestal establecidas en Bolivia en base a los incrementos reales en el crecimiento de las especies forestales del Cerrado Boliviano.

**Palabras clave:** área basimétrica; diámetro óptimo de corte; periodo óptimo de corte; incremento diamétrico; turnos biológicos de corte

**López, L., Villalba, R. 2015. Forest management criteria for 12 species of Tropical Native Forests of Bolivia based on dendrochronological methods. *Ecosistemas* 24(2): 24-29. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-2.04.**

In this study, we present information on growth rates, Biological Cutting Cycles (BCC), Optimum Cutting Diameters (OCD) and Optimum Cutting Periods (OCP) for 12 forest species from the Cerrado Boliviano. The results of this study were compared with those from the management guidelines established by the Bolivia's Forestry Law and from the GOL (Growth Oriented Logging) practices. Most species require more than 100 years to reach the BCC. There are species like *Anadenanthera colubrina* that achieves the OCD at 34 cm diameter whereas others such as *Hymenaea courbaril* reaches the OCD at 72 cm in diameter. The fast-growing species reach OCP at ages above 62 years, whereas slow-growing species need over 95 years. Most species require more years to reach a certain diameter than those established by the Bolivian Forestry Law. These results emphasize the need to adapt the Bolivia forest management guidelines to practices based on the actual growth rates in tropical species in the Cerrado Boliviano.

**Key words:** basal area; optimal cutting diameter; optimal cutting period; diameter increment; biological cutting cycle

## Introducción

El interés mundial por la sostenibilidad de los bosques tropicales ha puesto en evidencia la necesidad de obtener información específica sobre tasas de crecimiento de especies de árboles tropicales (Therrell et al. 2007; Rozendaal 2010; López 2011). El propósito final, es el establecimiento de pautas apropiadas para el manejo de las masas forestales en los trópicos como un recurso renovable en el largo plazo (Stahle et al. 1999; Schöngart 2008; López et al. 2013). Si bien se han establecido criterios de manejo forestal introduciendo los conceptos de ciclos de corta (CC) y diámetros mínimos de corta (DMC) con el propósito de hacer un uso sustentable del bosque a largo plazo (Bolfor 2003; Dauber et al. 2005). Sin embargo, el principio básico que sustenta el uso forestal de estas regiones está marcado principalmente por la factibilidad económica de la extracción de maderas comerciales (Campos et al. 2001; Brienen y Zuidema 2006). La aplicación de estos criterios teóricos no ha garantizado la sustentabilidad del

bosque, ni mucho menos la producción continua de madera a niveles comercialmente aceptables (Fredericksen y Licona 2000; Huth y Ditzer 2001).

Estudios recientes en la regiones tropicales de América del Sur sostienen que el manejo sostenible de los bosques tropicales debe basarse en la conservación de rodales multi-etarios (disetáneos) a través de la implementación de CC y del establecimiento de diámetros óptimos de corta (DOC) (Schöngart 2008; López et al. 2013). Estos nuevos criterios de manejo de masas tropicales destacan las distintas tasas de crecimiento de las diferentes especies que conforman un mismo rodal (Schöngart et al. 2007; López et al. 2012a). Asimismo, los nuevos criterios de manejo sustentable de los recursos forestales en las regiones tropicales están basados en criterios especie-específicos (*sensu* Schöngart 2008). Este criterio recomienda tener en cuenta los ritmos de crecimiento de cada especie en particular, además de considerar los criterios de ciclos de rotación entre turnos de cosechas y DOC (Schöngart 2008; Rozendaal 2010; López et al. 2013).

En Bolivia la actividad forestal está enmarcada en un plan general de manejo forestal con especificaciones de un CC de 20 años, un DMC mayor a 40 cm y una intensidad de corta del 80% (Bolivia-MDSP 1998; Bolfor 2003). En este contexto existen áreas de bosques donde el aprovechamiento forestal tiene una aplicación de alrededor de 20 años. Teóricamente se esperaría que las empresas forestales que hayan completado el primer ciclo de cosecha, todas sus actividades estén centradas al segundo ciclo de aprovechamiento, en la práctica estos supuestos están lejos de concretarse. Los principales factores para que estos criterios de manejo no hayan tenido un éxito similar a lo esperado, se atribuyen principalmente a la falta de información sobre las tasas de crecimiento (López 2011; López et al. 2012b). Los lentos procesos de evaluación a través de los métodos tradicionales que requieren décadas de seguimiento para que los primeros resultados tengan validez, limitaron realizar ajustes en las pautas de manejo basados en los nuevos criterios de gestión forestal sostenible (Lieberman y Lieberman 1985; Brienen y Zuidema 2005; López et al. 2013).

Los objetivos principales del presente estudio son: 1) determinar las tasas de incremento en diámetro y los Turnos Biológicos de Corte (TBC), el Periodo y Diámetro Óptimo de Corte (POC y DOC), mediante la aplicación de las técnicas dendrocronológicas, 2) comparar los resultados obtenidos con las pautas de manejo establecidas por la Ley Forestal de Bolivia y las propuestas del método GOL (Growth-Oriented Logging) de Schöngart (2008) realizados los bosques nativos tropicales.

## Métodos

### Área de estudio

Los sitios de estudio están localizados en dos distritos de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano (Navarro y Maldonado 2004). La provincia del Cerrado, es una de las más extensas en América del Sur, se extiende desde el centro-norte de Brasil hasta el este de Bolivia y noreste de Paraguay (Cabrera y Willink 1973). La provincia biogeográfica del Cerrado en esta parte de Bolivia, está compuesta por cinco distritos (Navarro y Maldonado 2004). En dos de estos distritos (Guarayos y Chiquitano) se encuentran ubicados los cuatro sitios de muestreo. En general estos distritos incluyen bosques que se extienden entre las formaciones húmedas tropicales y sus aéreas de transición Chiquitano-Amazónico hasta las sabanas húmedas del pantanal y los bosques caducifolios del Chaco boliviano (Killeen et al. 1993).

Los distritos de Guarayos y Chiquitano cubren una gran amplitud territorial y cuentan con una alta biodiversidad característica de ambientes tropicales estacionales. Particularmente los bosques de estos distritos están dominados por leguminosas (Killeen et al.

1993). El dosel superior alcanza alturas mayores en los bosques del distrito Guarayos (20 a 30 m) que en el distrito Chiquitano (15 a 25 m). El distrito Chiquitano presenta, en general, suelos poco profundos y muy pedregosos sobre relieves dominados por serranías y mesetas. Por su parte, el distrito de Guarayos tiene suelos moderadamente a profundos y húmedos por su mayor capacidad de retención de agua (Navarro y Maldonado 2004). Las temperaturas medias de las estaciones meteorológicas de Concepción y Ascensión de Guarayos, ubicadas en ambos distritos, son de 24.2 °C (1943-2014) y 24.2°C (1970-2014), respectivamente. La precipitación total anual, caracterizada por una marcada estacionalidad, varía entre 1080 y 1270 mm en el distrito Chiquitano (1947-2014) y 1400 a 1600 mm en Guarayos (1970-2014).

### Especies en estudio

La selección de las 12 especies forestales se basó en la determinación previa de la visibilidad de sus anillos de crecimiento (López 2003; 2011). Estas especies forestales son explotadas para obtener maderas, por lo que su uso actual determinó la obtención de muestras dendrocronológicas suficientes para cada especie (Tabla 1). Los árboles de estas especies en general tenían una estructura adulta y las copas de los árboles se encontraban en la capa superior del dosel del bosque.

El material leñoso se colectó de las siguientes especies: *Amburana cearensis* (Allemão) A. S. Smth, *Anadenanthera colubrina* (Vell. Conc.) Benth, *Cedrela fissilis* Vell., *Centrolobium microchaete* (C. Martius ex Benth.) Lima ex G. P. Lewis., *Copaifera chodatiana* Hassl., *Machaerium scleroxylon* Tul., *Platimiscium ulei* Harms., *Zeyheria tuberculosa* (Vell.) Bureau y *Schinopsis brasiliensis* Engler en sitios del distrito Chiquitano. En tanto de las especies *Cariniana ianeirensis* R. Knuth., *Ficus boliviana* C. C. Berg y *Hymenaea courbaril* L, fueron colectadas en sitios correspondientes al distrito de Guarayos (Tabla 1). Las 12 especies en estudio tienen una distribución exclusivamente tropical y subtropical (Killeen et al. 1993).

### Recolección de muestras

La dureza de las maderas en los bosques tropicales del Cerrado Boliviano impide el uso de barrenos de incremento y obliga a la toma de muestras leñosas en secciones transversales completas (López 2011). Todos los muestreos realizados fueron oportunistas, es decir se realizaron en sitios donde se estaba aprovechando la madera en el bosque por parte de la empresa forestal. Para la recolección de las muestras, antes de retirar el tronco de los árboles apeados, se tomaron sección transversales en la parte inferior del fuste. Contar con secciones completas del fuste, permite el seguimiento de las bandas en todo el perímetro del árbol y establecer con precisión el límite entre anillos de crecimiento (López 2011).

**Tabla 1.** Principales características dasométricas de las especies seleccionadas y la localización geográfica de los sitios de estudio situados en dos distritos (Chiquitano y Guarayos) de la provincia biogeográfica del Cerrado boliviano.

**Table 1.** Principal dasometric characteristics of selected species and geographical location of the study sites in the Chiquitano and Guarayos districts in the biogeographic province of Cerrado Boliviano.

Familia Botánica	Nombre científico	N° de árboles	Dap cm	Ubicación geográfica			
				Sitios	Lat. S.	Long. O.	Elevación (ms.n.m.)
Anacardiaceae	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	22	70	<sup>1</sup> Inpa	16° 22'	61° 55'	503
Mimosaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	31	53	<sup>1</sup> Inpa	16° 22'	61° 55'	503
Caesalpiniaceae	<i>Copaifera chodatiana</i>	24	56	<sup>1</sup> Inpa	16° 22'	61° 55'	503
Fabaceae	<i>Machaerium scleroxylon</i>	18	47	<sup>1</sup> Inpa	16° 22'	61° 55'	503
Bignoniaceae	<i>Zeyheria tuberculosa</i>	22	40	<sup>1</sup> Inpa	16° 22'	61° 55'	503
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	27	52	<sup>1</sup> Santa Anita	16° 32'	61° 55'	423
Fabaceae	<i>Platimiscium ulei</i>	30	44	<sup>1</sup> Santa Anita	16° 32'	61° 55'	423
Fabaceae	<i>Amburana cearensis</i>	35	55	<sup>1</sup> Santa Anita	16° 32'	61° 55'	423
Fabaceae	<i>Centrolobium microchaete</i>	50	65	<sup>2</sup> Santa Mónica	16° 22'	61° 55'	503
Moraceae	<i>Ficus boliviana</i>	13	95	<sup>2</sup> La Chonta	15° 38'	62° 46'	250
Caesalpiniaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	36	77	<sup>2</sup> La Chonta	15° 38'	62° 46'	250
Lecythidaceae	<i>Cariniana ianeirensis</i>	18	91	<sup>2</sup> La Chonta	15° 38'	62° 46'	250

<sup>1</sup> Sitios pertenecientes al distrito Chiquitano; <sup>2</sup> distritos de Guarayos. Dap cm = diámetro promedio de todos los individuos muestreados

## Medición y análisis

Las muestras fueron pulidas y fechadas visualmente siguiendo los criterios ya establecidos en dendrocronología (Stokes y Smiley 1968). Se describieron las características más destacadas del leño, entre estos la distribución de vasos, el tamaño y tipo de parénquima que facilita la delimitación de los anillos de crecimiento. Una vez definido el patrón anatómico que delimita a los anillos de crecimiento, se procedió al fechado y co-fechado los anillos de crecimiento. Este patrón fue visualmente comparado con los dos radios de un mismo árbol y entre árboles de una misma especie para cada una de las 12 especies. Los anillos anuales fueron asignados al año de comienzo de la formación del leño siguiendo la convención para el hemisferio sur (Schulman 1956). Una vez determinada la edad de los árboles para cada especie, se procedió a medir el espesor de los anillos de crecimiento mediante una tableta Velmex UniSlide conectada a un contador digital Metronics Quick-Chek QC-10V con una precisión de 0.001 mm.

A partir de las mediciones radiales del ancho de los anillos de crecimiento, los datos de crecimiento expresados en mm fueron convertidos a cm y área basimétrica en función a su edad biológica. Para este proceso se empleó el programa de crecimiento de los árboles por la edad (AGE), de la Librería de Programas para Dendrocronología (DPL) (Holmes 1983). El Incremento Corriente Anual (ICA) correspondiente al incremento diamétrico del árbol para un año determinado año  $t$  [(A) $_t$ ]. El ICA se calcula restando el Crecimiento Acumulado (CA) correspondiente al año  $t$  menos el tamaño que tenía el árbol en el año anterior  $t-1$ ,

$$ICA = CA_T - CA_{t-1}$$

El Incremento Medio Anual (IMA) resulta de dividir el CA para el año  $T$  por  $t$  años, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$IMA = \frac{CA_T}{t}$$

El crecimiento diamétrico medio acumulado por especie fue determinado promediando los crecimientos individuales donde se consideró la edad biológica de cada serie, ósea el anillo 1 corresponde más próximo a la medula. Para ello, independientemente de la fecha calendario, se asignó al anillo central (en contacto con la médula) en cada sección transversal el año  $T = 1$  (Fig. 1). De esta forma, el crecimiento diamétrico medio acumulado resultó de promediar todos los crecimientos acumulados en base a la edad biológica de cada serie. En forma similar, el incremento basimétrico corriente (ICBA) y medio (IMBA) se obtuvo promediando los valores provenientes de cada uno de los individuos teniendo en cuenta la edad biológica de cada muestra.

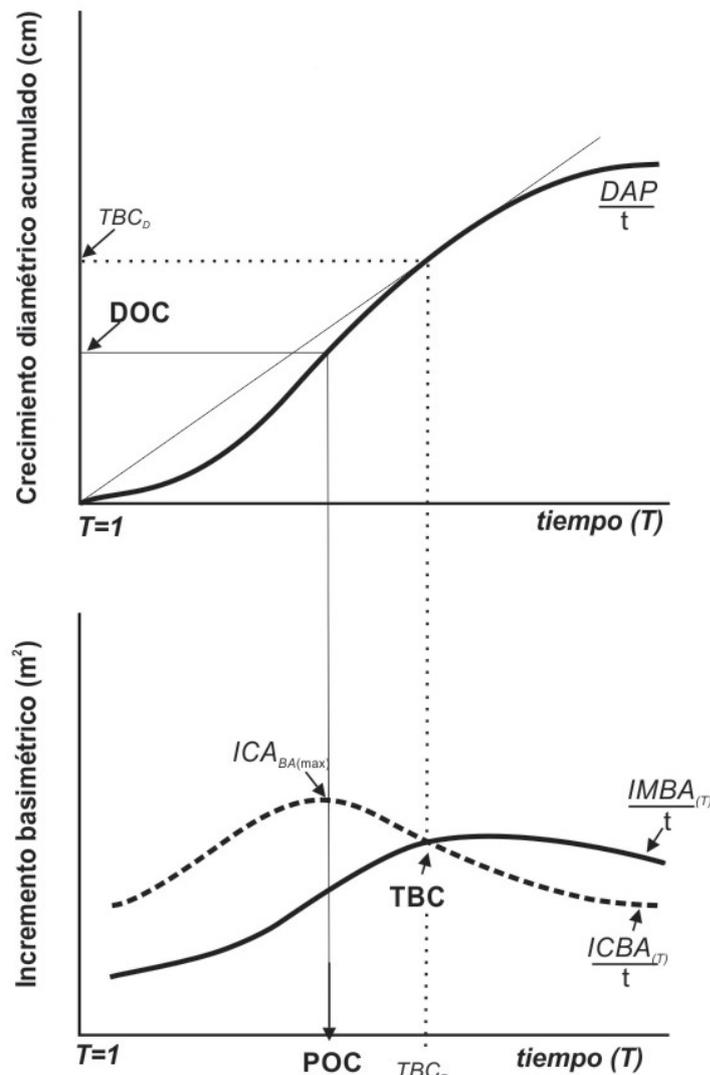
Los valores obtenidos en este análisis tanto las tasas de crecimiento medio para las 12 especies, el TBC, DOC y POC fueron comparados con aquellos supuestos en la Ley Forestal 1700 (Bolivia-MDSMA 1997). El TBC coincide con la edad en la cual el árbol alcanza la tasa máxima media de incremento en área basal (Assmann 1970; López et al. 2013). Mientras los DOC y POC desde el punto de vista biológico, corresponde al momento donde se alcanzó la mayor productividad biológica (Schöngart et al. 2007; Schöngart 2008).

A partir de los TBC en tiempo ( $TBC_T$ ) como en diámetro ( $TBC_D$ ), se realizaron las estimaciones de los Ciclos de Corta (CC) en función al incremento de cada una de las especies en estudio hasta alcanzar un determinado crecimiento diamétrico. Específicamente los CC se estimaron cada vez que los árboles de las 12 especies estudiadas alcanzaron un crecimiento promedio de 10, 20 y 40 cm de diámetro. Los CC fueron estimados empleando la ecuación ya establecida por la propuesta GOL de Schöngart (2008).

El  $TBC_T$  expresado en años corresponde al valor alcanzado sobre el eje X y en el eje Y al diámetro logrado (Fig. 1).

Los valores obtenidos y alcanzados por las 12 especies serán utilizados para estimar los CC. Ambos valores tanto por POC, DOC, TBC y los CC serán comparados con las proyecciones realizadas en la Ley Forestal Boliviana, con el método GOL y con nuestros resultados.

$$CC = \frac{TBC_T = (\text{años})}{TBC_D = (dap) * 0.1}$$



**Figura 1.** Relación entre crecimiento medio diamétrico acumulado (arriba) y sus correspondientes incrementos en área basimétrica (abajo) corriente (ICBA) y medio (IMBA). En la propuesta GOL, el punto correspondiente al  $ICA_{BA(max)}$  se define como el periodo preferido para el corte (Periodo Óptimo de Corte, POC), del cual se desprende el Diámetro Óptimo de Corte (DOC) sobre el eje Y (Crecimiento diamétrico acumulado). En nuestro análisis, la intersección entre las curvas ICBA e IMBA es considerado como el Turno Biológico de Corte (TBC) con sus correspondientes valores en tiempo ( $TBC_T$ ) y en diámetro ( $TBC_D$ ). El TBC está indicado por una línea en puntos.

**Figure 1.** Relationship between accumulated mean diametric growth (above) and corresponding current (ICBA) and mean (IMBA) increments in basal area (bottom). In the GOL approach, the point of  $ICA_{BA(max)}$  corresponds to the optimum cutting period in years (POC) from which the optimum cutting diameter (DOC) the cumulative diameter growth are inferred. In our analysis, the intersection between ICBA and IMBA is considered as the Biological Cutting Cycle (TBC) and their associated estimates in time ( $TBC_T$ ) and in diameter ( $TBC_D$ ). The TBC is indicated by a dotted line.

**Tabla 2.** Comparación entre las pautas de manejo establecidas por la Ley Forestal de Bolivia 1700 y las resultantes de los estudios realizados en este trabajo. El ICA máximo en diámetro, tanto como el ICA en años, representa al óptimo crecimiento promedio alcanzado por los árboles de cada especie, los cuales son propuestos como DOC y POC empleados en las proyecciones de los CC de acuerdo a la propuesta GOL (Corta orientado en base al crecimiento).

**Table 2.** Comparison between management guidelines established by the Forestry Law 1700 in Bolivia and the results from this paper. The CAI maximum, both in diameter and years, represents the optimal growth rate achieved by trees of each species, which are proposed as DOC and POC in the estimations of the Cutting Cycles according to the proposal GOL (Growth-Oriented Logging).

Especies en estudio	Bolivia-MDSMA 1997 (Ley forestal 1700)				Nuestros resultados en base a los ICA real					GOL (Growth-Oriented Logging)		
	DMC	CC año	ICA cm	Dap. esp.	ICA cm	Dap. esp.	ICA max.	ICA años	TBC años	CC 10 cm	CC 20 cm	CC 40 cm
<i>Amburana cearensis</i>	40	20	1	60	0.52	50.4	55	95	122	17.2	34.4	68.8
<i>Anadenanthera colubrina</i>	40	20	1	60	0.36	47.2	34	62	105	19.0	38.0	76.0
<i>Cariniana ianeirensis</i>	50	20	1	70	0.65	63.0	50	82	105	16.4	32.8	65.6
<i>Cedrela fissilis</i>	40	20	1	60	0.51	50.2	40	63	105	15.7	31.4	62.8
<i>Copaifera chodatiana</i>	40	20	1	60	0.34	46.8	30	85	111	28.3	56.6	113.2
<i>Ficus boliviana</i>	50	20	1	70	1.05	71.0	72	55	85	7.6	15.2	30.4
<i>Hymenaea courbaril</i>	50	20	1	70	0.49	59.8	72	95	131	13.1	26.2	62.4
<i>Machaerium scleroxylon</i>	40	20	1	60	0.34	46.8	36	98	121	27.2	54.4	108.8
<i>Platimiscium ulei</i>	40	20	1	60	0.41	48.2	40	90	112	22.5	45.0	90.0
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	40	20	1	60	0.31	46.2	29	80	102	27.5	55.0	110
<i>Centrolobium microchaete</i>	40	20	1	60	0.48	49.6	47	81	118	17.2	34.4	68.8
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	40	20	1	60	0.50	50.0	60	99	130	16.5	33.0	66.0

DMC= diámetro mínimo de corte; CC= ciclos de corte; ICA= incremento corriente anual y TBC=turno biológico de corta; Dap esp.= diámetro esperado

## Resultados

Las tasas de crecimiento diamétrico que poseen cada una de las 12 especies en estudio indican que el crecimiento es bajo y muy variable entre especies. La especie de mayor crecimiento, es *Ficus boliviana* que alcanza un promedio anual de 1.05 cm y la de menor crecimiento corresponde a *Zeyheria tuberculosa* con solo 0.31 cm de diámetro (Tabla 2). Teóricamente en la Ley Forestal Boliviana se esperaría que todas las especies maderables alcancen un crecimiento anual superior a 1 cm de diámetro, por lo que árboles con 40 cm ( $\geq$  DMC) en 20 años alcancen un diámetro de 60 cm. De acuerdo a las tasas reales de crecimiento que poseen cada una de las especies estudiadas, por ejemplo *Amburana cearensis* que tiene un ICA de 0.52 cm, en 20 años sólo alcanzaría un crecimiento corriente de 10.4 cm. Asimismo, los árboles de 40 cm de diámetro, en 20 años sólo alcanzarían un crecimiento diamétrico a acumulado de 50.4 cm (Tabla 2).

A partir de la proyección realizada en la Figura 1 donde se emplean los valores más altos alcanzados por el ICA (max), el DOC obtenido para *Anadenanthera colubrina*, es de 34 cm de diámetro. Sin embargo para alcanzar este tamaño diamétrico, esta especie de 62 años, siendo ésta edad de menor tiempo requerido entre las 12 especies para alcanzar el diámetro óptimo de corte (DOC). En tanto *Hymenaea courbaril*, es la especie que necesita de 95 años para llegar al POC, a su vez esta especie es la que requiere mayor tamaño (72 cm) para alcanzar el DOC (Tabla 2).

En cuanto a los TBC, este valor varía entre especies, excepto *Ficus boliviana*, que para alcanzar este punto, requieren de 85 años, el resto de las especies estudiadas no logra el TBC a edades inferiores a los 85 años, sino por el contrario requieren edades superiores a los 100 años de edad. Siendo *Hymenaea courbaril* la es-

pecie que requiere mayor tiempo (131 años) de las 12 especies forestales en estudio. Tomando la iniciativa GOL de aprovechar el bosque o establecer los CC para un crecimiento promedio de 10 cm. En este caso específico, solo los árboles de *Ficus boliviana* para alcanzar este diámetro (10 cm) requieren un tiempo de 7.6 años. Mientras las demás especies para alcanzar el CC de 10 cm, en general requieren entre 13.1 (*Hymenaea courbaril*) y 28.3 años (*Copaifera chodatiana*).

Considerando los CC cada vez que las especies alcanzan 20 cm de diámetro, sólo *Ficus boliviana* requiere una edad inferior a los 20 años, mientras las demás especies necesitan edades superiores de 26 años. Con CC de 40 cm o equivalente a los DMC establecidos para estas especies, excepto de *F. boliviana*, las demás especies requieren de más de 60 años para alcanzar ese tamaño diamétrico en los bosques del Cerrado Boliviano.

## Discusión

La mayoría de las especies estudiadas presentan una alta variación de sus crecimientos diamétricos entre individuos, poniendo en evidencias la importancia de la dinámica de cada individuo en la masa forestal (Tabla 2). Así por ejemplo, mientras los árboles de *Ficus boliviana* considerados de rápido crecimiento necesitan, en la localidad de La Chonta, aproximadamente 38 años de edad para alcanzar 40 cm de diámetro, los individuos de bajo crecimiento como *Cariniana ianeirensis*, en el mismo rodal requieren alrededor de 82 años para alcanzar el mismo diámetro. En sitios correspondientes al distrito Chiquitano esta diferencia del crecimiento entre especies es mucho más marcada en árboles de *Schinopsis brasiliensis* que requieren 80 años, mientras que *Zeyheria tuberculosa* necesita 129 años alcanzar un diámetro de 40 cm.

En general, observamos que las especies del distrito de Guarayos tienen tasas de crecimiento más altas que las en el distrito Chiquitano. Es muy probable que estas diferencias estén relacionadas con las precipitaciones más abundantes en el distrito de Guarayos, una mejor calidad de los suelos, o regímenes de disturbios relacionados con el establecimiento y la dinámica posterior de los bosques. Así, *Ficus boliviana*, especie característica del distrito de Guarayos, alcanza un incremento promedio de 1.05 cm/año (evaluado durante 100 años), mientras que en el distrito Chiquitano, *Zeyheria tuberculosa* sólo alcanza incrementos medios de 0.31 cm/año (evaluado en un periodo de tiempo similar). Estas diferencias sugieren claramente que cada especie tiene un ritmo particular de crecimiento y por lo tanto necesitan pautas de manejo forestal basadas en estimaciones especie-específicas en cada región o bioma.

La información que brindan los TBC es muy valiosa para el manejo de las masas forestales ya que coinciden con la edad en la cual los árboles alcanzan la tasa máxima media de incremento en área basal, independiente de su rentabilidad económica (Assmann 1970; Schöngart 2008; López et al. 2013). Los TBC representan el momento de optimización de la producción leñosa ya que si se cortaran los árboles con anterioridad a ese momento no se les permitiría alcanzar la potencialidad de su máximo crecimiento. En este contexto ninguna de las 12 especies en el cerrado boliviano, excepto de *Ficus boliviana*, alcanza los TBC a edades inferiores a los 100 años (Tabla 2). Por lo que al postergar la corta más allá del TBC, el ritmo de producción de madera decaería y sería inferior a la capacidad potencial de crecimiento de los árboles para un lugar determinado. Esta idea de TBC, también está asociada con la conservación a largo plazo de los bosques tropicales, ya que se espera una optimización de otros procesos vitales de los árboles como la producción de semillas asociados al momento de mayor producción leñosa.

Entre otra de las propuestas de manejo forestal que debería considerarse para los bosques tropicales, está el método GOL (Growth-Oriented Logging) de Schöngart (2008), el cual establece que el aprovechamiento debería realizarse al momento o después que los árboles alcancen su óptima producción. Este punto es considerado cuando los árboles alcanzan su mayor incremento corriente en área basal ( $ICA_{BA(max)}$ ) y el del mayor incremento medio en área basal ( $IMA_{BA(max)}$ ), (Fig. 1), el cual ha sido definido como el intervalo preferente para la cosecha forestal (Schöngart 2003). La aplicación de esta metodología en las 12 especies de nuestro estudio produce resultados consistentes con TBC establecidos por métodos tradicionales (López et al. 2013). La Tabla 2, se comparan las pautas de manejo (tiempos de corte y diámetros de corte) establecidos por la Ley Forestal 1700, con los datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas en este trabajo y las resultantes de aplicar la metodología GOL de Aprovechamiento Orientado en el Crecimiento de las especies. Se ve claramente que en base a nuestras mediciones los diámetros esperados a los 20 años después de la primera cosecha forestal son mucho menores que los establecidos por la ley forestal. Del mismo modo al aplicar el método GOL para la determinación de los ciclos de corte, basado en incrementos de 20 cm entre cosechas, los tiempos esperados son siempre mayores (con excepción de *F. boliviana*) a los fijados por la Ley Forestal. Estos resultados enfatizan la necesidad de adecuar las pautas de manejo forestal establecidas en Bolivia tomando como base los incrementos reales en el crecimiento de las especies forestales del Cerrado Boliviano.

Los resultados en este trabajo demuestran una gran similitud a aquellos estudios que sostienen que los actuales CC en bosques disetáneos tropicales deberían ser mayores a 20 años que los actualmente propuestos por Ley (Bolivia-MDSP 1998). Los CC de tiempos cortos no garantizan ni la producción sostenible de madera, ni la recuperación del bosque causado por el impacto de la primera cosecha (Brienen y Zuidema 2006; López 2011). Probablemente la metodología propuesta recientemente por Schöngart (2008) sea válida para el manejo de bosques primarios coetáneos donde el objetivo es la producción total de biomasa, pero no la ca-

lidad de producción leñosa. A su vez, en bosques disetáneos con cortas selectivas por especies, sería muy difícil lograr un aprovechamiento económico factible con ciclos tan cortos de corta en los bosques tropicales del Cerrado Boliviano.

## Conclusiones

El Cerrado Boliviano es una región con escasa información sobre la ecología de los bosques. Este estudio constituye un valioso aporte para una adecuada comprensión de los procesos naturales de crecimiento de las especies arbóreas y sus consecuencias e incluye recomendaciones para esquemas de manejo forestal sostenible. Se pone a prueba la validez biológica de la vigente Ley Forestal Boliviana que impone los mismos turnos de corta y diámetros mínimos de cosecha fijos dentro de regiones para todas las especies, sin tener en cuenta las diferentes tasas de crecimiento de las especies. Claramente los tiempos necesarios que requieren las especies para alcanzar un determinado diámetro son mucho mayores a los establecidos por la Ley Forestal y más aún que dependen de la especie y la zona donde se ubican. Estos resultados enfatizan la necesidad de adecuar las pautas de manejo forestal establecidas en Bolivia en base a los incrementos reales en el crecimiento para las diferentes especies forestales del Cerrado Boliviano.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo económico a *Education for Nature Program, World Wildlife Fund (WWF)*, al *Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) Argentina* y al proyecto CRN2047 del *Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI)*, como así también a *INPA Parquet*, a la empresa *Agroindustrial La Chonta* y a las comunidades originarias de *Santa Mónica* y *Santa Anita* por su enorme apoyo logístico durante las tareas de campo.

## Referencias

- Assmann, E. 1970. *The principles of forest yield study*. Pergamon Press, Oxford, Reino Unido.
- Bolfor 2003. *Diámetros mínimos de corta en bosques tropicales de Bolivia: Recomendaciones basadas en la investigación forestal*. Proyecto, BOLFOR - The Forest Management Trust, Santa Cruz, Bolivia.
- Bolivia-MDSMA 1997. Nueva ley forestal. Ley n° 1700 del 12 de julio de 1996. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente (MDSMA). República de Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Bolivia-MDSP 1998. Normas técnicas para la elaboración de instrumentos de manejo forestal (inventarios, planes de manejo, planes operativos, mapas) en propiedades privadas o concesiones con superficies mayores a 200 hectáreas. Resolución Ministerial N° 248/98, Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP). República de Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P. A. 2005. Relating tree growth to rainfall in bolivian rain forests: A test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P. A. 2006. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226: 256.
- Cabrera, A.L., Willink, A. 1973. *Biogeografía de América Latina*. OEA (Organización de los Estados Americanos), Washington, DC. Estados Unidos.
- Campos, J.J., Finegan, B., Villalobos, R. 2001. Management of goods and services from neotropical forest biodiversity: diversified forest management in Mesoamerica. En: *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Assessment, conservation and sustainable use of forest biodiversity*, pp. 5–16. CBD Technical Series No. 3. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.
- Dauber, E., Fredericksen, T. S., Peña, M. 2005. Sustainability of timber harvesting in bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294.
- Fredericksen, T. S., Licona, J. C. 2000. Encroachment of non-commercial tree species after selection logging in a bolivian tropical forest. *Journal of Sustainable Forestry* 11: 113.

- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69.
- Huth, A., Ditzer, T. 2001. Long-term impacts of logging in a tropical rain forest – a simulation study. *Forest Ecology and Management* 142: 33.
- Killeen, J.T., Garcia, E., Berck, G.S. 1993. *Guía de arboles de bolivia. Herbario nacional de bolivia, missouri botanical garden*. Quipus S.R.L, La Paz, Bolivia.
- Lieberman, M., Lieberman, D. 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. *Ecology* 66: 632.
- López, L. 2003. *Estudio de anillos de crecimiento en once especies forestales de santa cruz-bolivia*. Tesis de Ingeniería Forestal. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia.
- López, L. 2011. *Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del cerrado boliviano*. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche, Rio Negro, Argentina.
- López, L., Villalba, R., Peña-Claros, M. 2012a. Determining the annual periodicity of growth rings in seven tree species of a tropical moist forest in santa cruz, bolivia. *Forest Systems* 21(3): 508.
- López, L., Villalba, R., Peña-Claros, M. 2012b. Diameter growth rates in tropical dry forests: Contributions to the sustainable management of forests in the bolivian cerrado biogeographical province. *Bosque* 33(2): 99.
- López, L., Villalba, R., Bravo, F. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the cerrado biogeographical province of bolivia. *Forest Ecology and Management* 292: 49.
- Navarro, G., Maldonado, M. 2004. *Geografía ecológica de bolivia: Vegetación y ambientes acuáticos*. Centro de Ecología Simón Patiño, Santa Cruz, Bolivia.
- Rozendaal, D.M.A. 2010. *Looking backwards: Using tree rings to evaluate long-term growth patterns of bolivian forest trees*. Scientific Series 12, PROMAB, Riberalta, Bolivia.
- Schöngart, J. 2003. Dendrochronologische untersuchungen in überschwemmungswäldern der várzea zentralamazoniens. Tesis de doctorado, fakultät für forstwissenschaften und waldökologie. *Universität Göttingen, Göttingen*: 223.
- Schöngart, J. 2008. Growth-oriented logging (gol): A new concept towards sustainable forest management in central amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* 256: 46.
- Schöngart, J., Wittmann, F., Worbes, M., Piedade, M., Krambeck, H., Junk, W. 2007. Management criteria for ficus insipida willd. (moraceae) in amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* 64: 657.
- Schulman, E. 1956. *Dendroclimatic changes in semiarid america*. University of Arizona Press, Tucson.
- Stahle, D.W., Mushoveb, P.T., Cleavelanda, M.K., Roig, F., Haynes, G.A. 1999. Management implications of annual growth rings in pterocarpus angolensis from zimbabwe. *Forest Ecology and Management* 124: 217.
- Stokes, M.A., Smiley, T. L. 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago, Estados Unidos.
- Therrell, M.D., Stahle, D.W., Mukelabai, M.A., Shugart, H.H. 2007. Age, and radial growth dynamics of pterocarpus angolensis in southern africa. *Forest Ecology and Management* 244: 24.