

# UNA APROXIMACIÓN DENDROCRONOLÓGICA A LA ECOLOGÍA Y EL MANEJO DE LOS BOSQUES TROPICALES SECOS DEL CERRADO BOLIVIANO

Por  
**LIDIO LÓPEZ CALLEJAS**  
Ingeniero Forestal



Tesis presentada al  
Centro Regional Universitario Bariloche  
Universidad Nacional del Comahue  
Como un requisito para optar al grado de  
Doctor en Biología  
2011



Russell E. Train  
**Education for  
Nature Program**



IANIGLA  
  
CONICET





ACTA N° 127

-----En la ciudad de San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro, República Argentina, siendo las 8.30 hs del 01 de Abril del año dos mil once, en el Centro Regional Universitario Bariloche perteneciente a la Universidad Nacional del Comahue, se constituye el Jurado que dictaminará sobre el Trabajo de Tesis Doctoral del Ing. Ftal. Lidio López Callejas, alumno de la Carrera de Postgrado Doctorado en Biología, realizada bajo la Dirección del Dr. Ricardo Villalba y la Codirección de la Dra. Marielos Pena Claros -----

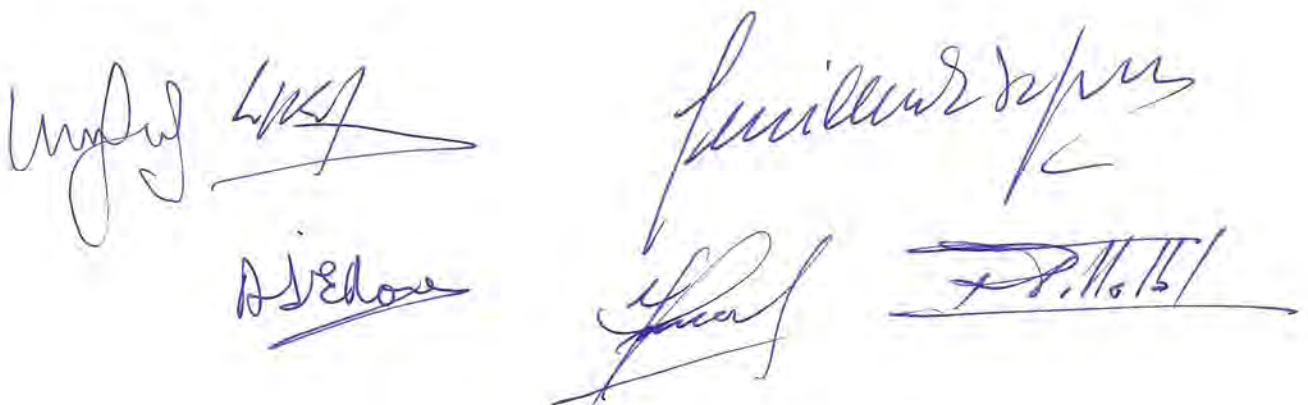
-----El Jurado ha sido designado según Resolución CRUB N° 491/10, y está integrado por: Dr. Hector Ricardo Grau (Instituto de Ecología Regional – Universidad Nacional de Tucumán), Dr. Guillermo Deffosé (CIEFAP, CONICET), la Dra Adriana Rovere (CONICET-UN Comahue) – en reemplazo del Dr Tomas Kitzberger (CRUB-UNC, CONICET) y el Dr. Ricardo Villalba (IANIGLA- CONICET )en calidad de Director de Tesis.-----

-----La presentación se titula: “ **Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del Cerrado Boliviano**”-----

-----Los Miembros del Jurado han expresado, por unanimidad mediante dictámenes escritos previos a este acto, que la Tesis presentada reúne las condiciones para su defensa.-----

-----El Dr. Tomas Kitzberger no asiste al presente acto académico por razones debidamente justificadas quien es sustituido por la Dra. Adriana Rovere (CRUB – UNCOMA – CONICET) en calidad de Jurado Suplente según Resolución CRUB N° 491/10 -----

-----Habiéndose procedido a la primera instancia de la defensa el día 31/03/11, los Miembros del Jurado consideran por **unanimidad** pasar a la defensa oral y pública (segunda instancia) transcurrida la cual emiten el siguiente Dictamen: “*La tesis representa un valioso aporte al conocimiento de la ecología, ecofisiología y manejo de bosques tropicales; al desarrollar y aplicar métodos dendrocronológicos a especies de los bosques de Bolivia. Está bien escrita y organizada, y presenta análisis apropiados y rigurosos de un conjunto de datos realmente novedosos generado a partir de un esfuerzo muy significativo de muestreo y procesamiento de muestras*”. En base a esto, por **unanimidad consideramos Aprobar** la Tesis Doctoral y su defensa calificándola con la nota de **Sobresaliente (10)** Con lo que se da por finalizado el acto, firmando los Integrantes del Jurado en cuatro ejemplares de un mismo tenor y a un único efecto.-----



## RESUMEN

---

Lidio López Callejas (Doctor en Biología)

### **Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del Cerrado Boliviano**

Director de tesis Dr. Ricardo Villalba

Ante el vacío de información ecológica de los bosques secos de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano y en busca de una metodología práctica frente a las técnicas tradicionales de estudio de la dinámica forestal a través de parcelas permanentes. En esta tesis doctoral se propone el empleo de los anillos de los árboles como una alternativa para la determinación de las tasas de crecimiento pasadas y presentes de fácil uso e inmediata aplicación. A pesar de las dificultades documentadas en la aplicación de los métodos dendrocronológicos en especies tropicales, del esfuerzo que se requieren para establecer el arreglo de los elementos del leño asociado a la delimitación de los anillos de crecimiento y el establecimiento del carácter anual de las bandas observadas, los anillos de los árboles brindan información precisa para dar respuestas en el corto tiempo a muchos interrogantes del manejo sostenible de los bosques tropicales secos. El objetivo principal de este estudio es determinar la presencia los anillos de crecimiento anuales en el leño de las especies leñosas del Cerrado Boliviano, demostrar su aplicación en los campos de la ecología, la historia ambiental y el manejo forestal sustentable en Santa Cruz, Bolivia.

La presente tesis doctoral muestra los resultados de un inventario xilológico de 11 especies de alto valor comercial de los bosques tropicales secos del Cerrado Boliviano. Siguiendo los métodos estándares en dendrocronología, las muestras fueron secadas y pulidas hasta lograr la visualización completa de los elementos de la superficie leñosa. Posteriormente se procedió a la identificación de las características más importantes de la estructura leñosa. En el 70% de las especies en estudio, sus anillos están delimitados por la presencia de una banda de tejido parenquimático terminal. La gran mayoría de las especies estudiadas presentan en su leño

lentes de crecimiento, falsos anillos, anillos ausentes y/o paquetes con leño comprimido. La ocurrencia de estas anomalías en el leño dificulta la lectura correcta de las bandas anuales, alterando los patrones de crecimiento en diferentes radios de un mismo árbol. Sin embargo el fechado comparativo de dos o más radios por árbol, tratando de reducir el efecto de lentes o falsos anillos permitió estimar las edades de los árboles con alto nivel de precisión. Solo en *Centrolobium microchaete* no se observaron patrones anómalos de crecimiento y por lo tanto los anillos de crecimiento en las muestras de esta especie pudieron ser fechados al año exacto de su formación. Las edades medias de los rodales muestreados oscilan entre 98 y 112, con algunos de los individuos con edades superiores a los 180 años. Las mediciones del ancho de las bandas de crecimiento en dos o más radios de un mismo árbol pretermitieron conocer las tasas de crecimiento anual para las 11 especies en estudio. Estos valores son comparables y altamente consistentes a los establecidos en otros estudios empleando métodos dendrocronológicos o de parcelas permanentes. A partir de estas mediciones por individuo se pudo determinar la variabilidad en el crecimiento entre especies, y entre individuos de una misma especie creciendo en un mismo sitio o sitios ecológicamente diferentes. Para algunas especies la diferencia de crecimiento entre individuos fue muy marcada, documentándose ritmos de hasta 5 veces mayores cuando se comparan los árboles de más alto y bajo crecimiento en un rodal. Para las 11 especies estudiadas se determinaron detalladamente los incrementos corrientes anuales (ICA) y los medios anuales (IMA) y sus variaciones en función de la edad de los árboles. La estimación ICA como del IMA permitió además estimar los Turnos Biológicos de Corte (TBC) y calcular el crecimiento basal corriente y medio para cada una de las especies en estudio. Las edades de los TBC, oscilan entre 68–130 y 105–145 años en ambos distritos, Guarayos y Chiquitano, respectivamente. Finalmente en base a la información obtenida a partir de los anillos de crecimiento se evaluaron las pautas actuales del manejo forestal en Bolivia, particularmente la duración de los ciclos de corte y los diámetros mínimos de corte que sustentan la conservación de los bosques tropicales secos de la provincia biogeográfica del Cerrado boliviano.

En base a las colecciones de *Centrolobium microchaete*, la especie que mostró las mejores características dendrocronológicas, se elaboraron las primeras seis cronologías para el Cerrado Boliviano. Los estadísticos comúnmente empleados en dendrocronología indican que las cronologías realizadas son de calidad comparables a las realizadas en regiones subtropicales y



templadas de América del Sur. Estas cronologías muestran un alto porcentaje de señal común en el crecimiento de los árboles de un mismo rodal. Así mismo, la comparación de las variaciones en los índices de crecimiento con las registradas en la temperatura y precipitación regional indican que el crecimiento de los árboles de esta especie está fuertemente influenciado por las condiciones climáticas durante el verano. Las lluvias estivales favorecen el crecimiento radial, en tanto que las altas temperaturas del verano, que actúan reduciendo el agua disponible para el crecimiento, están inversamente correlacionadas con el crecimiento. Para algunas cronologías, se noto que las variaciones interanuales en el crecimiento guardan un importante paralelismo durante el siglo XX, cuando la replicación de los registros es adecuada. En las 6 cronologías se observa un patrón de crecimiento muy marcado durante 1960–1975 con índices bajos de crecimiento, retornando a los valores medios entre 1980–1990 y comienzos del siglo XXI.

Asimismo en base a las 6 cronologías realizadas para esta región tropical, observamos una clara dependencia climática del crecimiento de los árboles de *Centrolobium microchaete* surgiendo que el cambio climático en el futuro podría influir en el crecimiento de los árboles durante el siglo 21. Predicciones climáticas bajos algunos escenarios de emisión prevén un aumento en la temperatura media anual de 3–4,5°C en los bosques secos tropicales lo largo del siglo siguiente (Urrutia y Vuille 2009). Así mismo, simulan aumentos de la precipitación en verano entre 120 y 240 mm. Sobre la base de las relaciones del crecimiento de los árboles de *C. microchaete* con el clima desarrollado en este trabajo, se podría inferir un posible aumento del crecimiento radial en respuesta a la precipitación más abundante, pero los veranos podrían ser atenuados por el efecto indirecto de las altas temperaturas y el aumento de la evapotranspiración.

Si bien las cronologías desarrolladas solo cubren los últimos 180 años, la incorporación de ejemplares más longevos permitirá extender estos registros en el tiempo y reconstruir las variaciones pasadas del clima en los llanos de Bolivia durante las últimas centurias.

---

*Palabras claves:* Dendrocronológico, Cerrado Boliviano, Turnos Biológicos de Corte, anillos de crecimiento en árboles tropicales.

## ABSTRACT

---

### **A dendrochronological approach to the ecology and management of dry tropical forests of the Cerrado Boliviano**

By: Lidio López Callejas

Given the lack of ecological information about the dry forests of the biogeographical province of Cerrado Boliviano and in the search of a practical methodology different from the traditional techniques of using permanent plots for the study of forest dynamics, we propose in this thesis the use of tree rings as an alternative of easy use and immediate application.

Despite of the documented difficulties in the application of dendrochronological methods in tropical tree species and the effort required to establish the arrangement of the woody elements associated with the delimitation of the growth rings and the establishment of the annual nature of the rings, tree rings provide precise information in short time to respond many questions about sustainable management of the tropical dry forests. The main objective of this study is to determine the presence of annual growth rings in woody species from Cerrado Boliviano and to demonstrate its application in the fields of ecology, environmental history and sustainable forest management in Santa Cruz, Bolivia.

This dissertation shows results of a dendrological inventory of 11 species of high commercial value from the dry tropical forests of Cerrado Boliviano. Following standard dendrochronological methods, samples were dried and sanded to achieve full display of the woody elements of the rings. Then we proceeded to identify the most important features of the woody structure. In 70% of the studied species, the rings are defined by the presence of a terminal band of parenchyma. The majority of the species present false rings, missing rings and/or pockets of compressed wood. The occurrence of these anomalies makes it difficult to correctly interpret the annual bands, altering the growth patterns in different radios of the same tree. However, the comparative dating of two or more radii per tree, aimed to reduce the effect of lenses or false rings, allowed the estimation of tree ages with high precision.

*Centrolobium microchaete* was the only species where abnormal growth patterns were not present and therefore growth rings in samples of this species were dated to the exact year of

formation. Mean ages of the sampled stands ranged between 98 and 112 years, with some individuals presenting ages over 180 years. Ring width measurements in two or more radii of a same tree allowed me to record annual growth rates for the 11 studied species. These values are comparable and highly consistent with those of other studies using dendrochronological methods or permanent plots. From these individual measurements we determined the growth variability among the species and among individuals of the same species growing in the same and different ecological sites. For some species the growth difference among individuals was distinct; we documented rates 5 times greater when comparing fast- and slow-growth trees. For the 11 studied species we determined the current annual increment (CAI) and the mean annual increment (MAI) as well as the variations depending on the age of the trees. The CAI and the MAI estimates also allowed us to estimate the biological harvesting rotation (BHR) and to calculate the current and mean basal area increment for each studied species. The ranges of the BHR are 68–130 and 105–145 years for the Guarayos and Chiquitano districts, respectively. Based on information obtained from the tree rings we finally evaluated the current forest management practices in Bolivia, particularly the length of the harvesting rotations and the minimum cutting diameters that support the conservation of the tropical dry forests of the biogeographical province of Cerrado, Bolivia.

Based on the *Centrolobium microchaete* collections, the species that exhibited the best dendrochronological characteristics, we constructed the first six chronologies for Cerrado Boliviano. The statistics commonly used in dendrochronology indicate that the quality of these chronologies is comparable to those from the subtropical and temperate regions of South America. These chronologies show a high percentage of common signals among trees from the same stand. Furthermore, the comparison of the variability of the growth index with the variability of the regional temperature and precipitation indicate that the growth of this species is strongly influenced by climatic conditions during the summer. Summer rain promotes radial growth, while high summer temperatures, reducing the amount of water available for growth, are inversely correlated with growth. The clear climate dependency of tree growth suggests that future climate change could significantly influence tree growth during the 21st century. Depending on emission scenarios, mean annual temperatures are predicted to increase 3–4.51°C for the Chiquitania over the next century (Urrutia & Vuille 2009). Predictions of changes in precipitation are more variable and spatially much less coherent: different climatic

models (Urrutia & Vuille 2009) simulate increases of summer precipitation between 120 and 240 mm. Based on the climate–tree growth relationships for *C. microchaete* developed in this paper, we might infer a potential increase in radial growth in response to more abundant summer precipitation but this could be attenuated by the indirect effect of higher temperatures on increased evapotranspiration.

Whereas the chronologies developed only cover 180 years, the addition of older individuals will allow the extension of these records in time and reconstruct past climate variations in the lowlands of Bolivia during the last centuries.

---

*Keywords:* Dendrochronological, Cerrado Boliviano, biological harvesting rotation, tropical tree rings.

## AGRADECIMIENTO

---

Primeramente quiero agradecer a mi director de tesis al Dr. Ricardo Villalba por su constante apoyo y por haberme guiado con sus sabios conocimientos durante el desarrollo de este trabajo. Por las oportunas sugerencias las cuales me han permitido concluir con éxito mis metas profesionales y sobre todo por la amistad, gracias jefecito!!!.

Esta tesis doctoral no hubiera sido posible realizar sin el apoyo económico de las siguientes instituciones. Mis mayores agradecimientos al Education for Nature Program, World Wildlife Fund (WWF), especialmente a mi promotora Andrea Santy. Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) Argentina, por haberme concedido la beca tipo II la cual fue fundamental para concluir exitosamente el presente trabajo. Así mismo agradezco al proyecto CRN2047 del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) por el soporte económico durante las tareas de campo y la etapa final.

También quiero agradecer al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), al Instituto Boliviano de Investigación Forestal (IBIF), al Proyecto BOLFOR, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) Bolivia, a las Empresas Forestales INPA Parquet y Agroindustrial La Chonta, por los datos y medios logísticos gentilmente proporcionados.

A los dirigentes de las Comunidades Originarias de la Chiquitania Boliviana, especialmente a los de Santa Mónica, Santa Anita, Zapocó y Makanaté, por su enorme atención y apoyo incondicional durante los muestreos de campo. A mis Colegas Forestales a los Ing. Daniel Mercado, Urbano Choque, Agustín García y Marco Urey, por haberme permitido realizar muestreos dentro de sus aéreas a cargo.

A mi Co-directora Marielos Peña-Claros por su gran voluntad y paciencia en la revisión parcial de la tesis. A José A. Boninsegna y Mariano Amoroso, Ana Srur, Cecilia Mugas, Ignacio Mundo, Juan Alvares y Milagros Rodríguez, por sus comentarios y sugerencias las cuales enriquecieron la versión final de la presente tesis. A Alberto Ripalta, Eduardo Barrios y por su continuos soportes en las tareas de campo y como en el laboratorio.



A Pierre Pitte, por ayudarme a resolver oportunamente mis escasos conocimientos de GIS.  
A José Mescua, Maximiliano Viale, Leticia Saldi, Alejandra Giantomasi, a Rojitas por su apoyo incondicional.

A Ana Paula por su constante apoyo, paciencia y compañía.

Al Centro Regional Universitario Bariloche (UNCOMA) como así también a la comisión evaluadora y administrativa por haberme permitido realizar mis estudios doctorales en esa Universidad

Finalmente quiero agradecer al comité revisor por sus aportes y sugerencias las mismas ayudaron y enriquecieron la versión final de la presente tesis doctoral.

Muchas gracias a todos!!!

## CONTENIDO GENERAL

---

	<b>Páginas</b>
<b>CAPÍTULO I–INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	
1. Introducción.....	2
1.1. Estudios dendrocronológicos en las regiones tropicales.....	5
2. Objetivo General.....	10
2.1. Objetivos Específicos.....	10
3. Área del Estudio.....	11
3.1. Distrito biogeográfico Chiquitano.....	13
3.2. Distrito biogeográfico de Guarayos.....	16
4. Organización de la tesis.....	19
5. Referencias.....	21
<b>CAPÍTULO II–ANILLOS DE CRECIMIENTO EN ÁRBOLES TROPICALES DEL CERRADO BOLIVIANO: CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y DENDROCRONOLÓGICAS</b>	
1. Introducción.....	25
2. Antecedentes .....	28
3. Materiales y métodos.....	30
3.1. Muestreo .....	30
3.2. Características generales de las especies en estudio .....	31
3.3. Procesamiento y análisis de muestras .....	35
4. Resultados .....	37
4.1. Descripciones del leño de las especies en estudio con énfasis en los anillos de crecimiento.....	37
4.2. Características dendrocronológicas de las especies en estudio.....	49
5. Discusión y conclusiones .....	61
5.1. Anillos de crecimiento en árboles de la Chiquitanía.....	61
5.2. Características dendrocronológicas de las especies en estudio.....	64
6. Referencias .....	65
<b>CAPÍTULO III–CRECIMIENTO RADIAL DE ESPECIES FORESTALES DEL CERRADO BOLIVIANO</b>	
1. Introducción.....	69
2. Materiales y métodos.....	71
3. Resultados .....	75
3.1. Crecimiento diamétrico de las 11 especies forestal en estudio.....	75
4. Tasas de crecimiento diamétrico de las 11 especies en estudio .....	109
5. Discusión y conclusiones .....	112
7. Referencias .....	118

## **CAPÍTULO IV–CRECIMIENTO BASAL Y TURNOS BIOLÓGICOS DE CORTE**

1. Introducción.....	122
2. Materiales y métodos.....	124
2.1. Crecimiento en área basal .....	124
2.2. Turnos Biológicos de Corte .....	125
3. Resultados .....	127
3.1. Crecimiento basal acumulado y turnos biológicos de corte.....	127
3.2. Tasas de crecimiento basal en 11 especies forestales .....	159
4. Discusión y conclusiones .....	162
6. Referencias .....	169

## **CAPÍTULO V–LA DENDROCRONOLOGÍA Y SUS APLICACIONES EN EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE**

1. Introducción.....	172
2. Materiales y métodos.....	175
2.1. Crecimiento anual por tamaño diamétrico y sus tiempos requeridos .....	175
2.2. Diámetros óptimos de corte .....	176
2.3. Edad media de los árboles y los DMC basados en la densidad madera.....	177
3. Resultados .....	179
3.1. Crecimiento anual por tamaño diamétrico .....	179
3.2. Estimación de los diámetros óptimos de corte.....	186
3.3. Edad media de los árboles y los DMC basados en la densidad de la madera.....	205
5. Discusión y conclusiones .....	207
6. Referencias .....	210

## **CAPÍTULO VI–ESTUDIOS DENDROCRONOLÓGICOS EN ESPECIES FORESTALES DEL CERRADO BOLIVIANO**

1. Introducción.....	214
2. Materiales y métodos.....	216
2.1. Área de estudio .....	216
2.2. Distribución de la especie .....	218
2.3. Colección de muestras .....	220
2.4. Desarrollo de las cronologías.....	221
2.5. Relación clima–crecimiento.....	223
3. Resultados .....	226
3.1. Cronologías de ancho de anillos .....	226
3.2. Relación clima-crecimiento .....	231
3.2.1. Concepción.....	231
3.2.2. Santa Anita.....	233
3.2.1. Zapocó.....	235
3.2.2. Santa Mónica.....	237
3.2.1. Makanaté .....	238

3.2.2. Guarayos–La Chonta (LC).....	240
4. Discusión y conclusiones .....	242
6. Referencias .....	249

## **CAPÍTULO VII–CONCLUSIONES GENERALES**

1. Conclusiones generales .....	252
2. Referencias .....	259

## LISTA DE FIGURAS

---

### CAPÍTULO I

Figura 1.1. Duración del período seco en el territorio de Bolivia .....	8
Figura 1.2. Mapa de las provincias biogeográficas de Bolivia y ubicación de los sitios de estudio.....	13
Figura 1.3. Clima diagrama correspondiente al distrito biogeográfico Chiquitano .....	15
Figura 1.4. Clima diagrama correspondiente al distrito biogeográfico de Guarayos .....	18

### CAPÍTULO II

Figura 2.1. Sección transversal del leño de <i>Amburana cearensis</i> .....	38
Figura 2.2. Sección transversal del leño de <i>Anadenanthera colubrina</i> .....	39
Figura 2.3. Sección transversal del leño de <i>Cariniana ianeirensis</i> .....	40
Figura 2.4. Sección transversal del leño de <i>Cedrela fissilis</i> .....	41
Figura 2.5. Sección transversal del leño de <i>Centrolobium microchaete</i> .....	42
Figura 2.6. Sección transversal del leño de <i>Copaifera chodatiana</i> .....	43
Figura 2.7. Sección transversal del leño de <i>Ficus boliviana</i> .....	44
Figura 2.8. Sección transversal del leño de <i>Hymenaea courbaril</i> .....	45
Figura 2.9. Sección transversal del leño de <i>Machaerium scleroxylon</i> .....	46
Figura 2.10. Sección transversal del leño de <i>Platimiscium ulei</i> .....	47
Figura 2.11. Sección transversal del leño de <i>Zeyheria tuberculosa</i> .....	48
Figura 2.12. Variaciones interanuales en el espesor de los anillos de <i>Amburana cearensis</i> .....	50
Figura 2.13. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos <i>Anadenanthera colubrina</i> .....	51
Figura 2.14. Ancho de los anillos de <i>Cariniana ianeirensis</i> .....	52
Figura 2.15. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos <i>Cedrela fissilis</i> .....	53
Figura 2.16. Índices de crecimiento de <i>Centrolobium microchaete</i> .....	54
Figura 2.17. Índices de crecimiento de individuos de <i>C. microchaete</i> .....	55
Figura 2.18. Variaciones interanuales en el espesor de los anillos de crecimiento de <i>Copaifera chodatiana</i> .....	56
Figura 2.19. Variaciones interanuales en el espesor de los anillos de crecimiento de <i>Ficus boliviana</i> .....	57
Figura 2.20. Ancho de los anillos de <i>Hymenaea courbaril</i> .....	58
Figura 2.21. Ancho de los anillos de crecimiento de <i>Machaerium scleroxylon</i> .....	58
Figura 2.22. Variaciones interanuales en el espesor de los anillos de crecimiento de <i>Platimiscium ulei</i> .....	59
Figura 2.23. Variaciones interanuales en el espesor de los anillos de crecimiento de <i>Zeyheria tuberculosa</i> .....	60
Figura 2.24. Porcentaje de elementos característicos observados en el leño de las especies en estudio .....	63

### CAPÍTULO III

Figura 3.1. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Amburana cearensis</i> .....	76
Figura 3.2. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de	



<i>Amburana cearensis</i> .....	77
Figura 3.3. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>A. colubrina</i> .....	78
Figura 3.4. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Anadenanthera colubrina</i> .....	79
Figura 3.5. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Cariniana ianeirensis</i> .....	81
Figura 3.6. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Cariniana ianeirensis</i> .....	82
Figura 3.7. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Cedrela fissilis</i> .....	83
Figura 3.8. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Cedrela fissilis</i> .....	84
Figura 3.9. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Centrolobium microchaete</i> , en Concepción.....	85
Figura 3.10. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Centrolobium microchaete</i> , en Concepción.....	86
Figura 3.11. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>C. microchaete</i> en Santa Mónica .....	87
Figura 3.12. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>C.</i> <i>microchaete</i> en Santa Mónica.....	88
Figura 3.13. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>C. microchaete</i> en Santa Anita .....	90
Figura 3.14. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Centrolobium microchaete</i> en Santa Anita.....	91
Figura 3.15. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>C. microchaete</i> en Zapocó.....	92
Figura 3.16. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Centrolobium microchaete</i> en Zapocó.....	93
Figura 3.17. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>C. microchaete</i> Makanaté .....	94
Figura 3.18. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>C. microchaete</i> Makanaté .....	95
Figura 3.19. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>C. microchaete</i> en Guarayos–La Chonta .....	96
Figura 3.20. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Centrolobium microchaete</i> en Guarayos–La Chonta.....	97
Figura 3.21. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>C. chodatiana</i> .....	98
Figura 3.22. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Copaifera chodatiana</i> .....	99
Figura 3.23. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Ficus boliviana</i> .....	100
Figura 3.24. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Ficus boliviana</i> .....	101
Figura 3.25. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Hymenaea courbaril</i> .....	102
Figura 3.26. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Hymenaea courbaril</i> .....	103
Figura 3.27. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Machaerium scleroxylon</i> .....	104
Figura 3.28. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Machaerium scleroxylon</i> .....	105
Figura 3.29. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Platimiscium ulei</i> .....	106
Figura 3.30. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Platimiscium ulei</i> .....	107

Figura 3.31. Crecimiento diamétrico acumulado de <i>Z. tuberculosa</i> .....	108
Figura 3.32. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo de <i>Zeyheria tuberculosa</i> .....	109
Figura 3.33. Crecimiento diamétrico promedio para especies del distrito biogeográfico Chiquitano.....	114
Figura 3.34. Crecimiento diamétrico promedio para especies del distrito biogeográfico de Guarayos.....	115

#### CAPÍTULO IV

Figura 4.1. Crecimiento basal acumulado de <i>Amburana cearensis</i> .....	128
Figura 4.2. Edad del turno biológico de corte para <i>A. cearensis</i> .....	129
Figura 4.3. Crecimiento basal acumulado de <i>Anadenanthera colubrina</i> .....	130
Figura 4.4. Edad del turno biológico de corte para <i>A. colubrina</i> .....	131
Figura 4.5. Crecimiento basal acumulado de <i>Cariniana iairensis</i> .....	132
Figura 4.6. Edad del turno biológico de corte para <i>C. iairensis</i> .....	133
Figura 4.7. Crecimiento basal acumulado de <i>Cedrela fissilis</i> .....	134
Figura 4.8. Edad del turno biológico de corte para <i>C. fissilis</i> .....	135
Figura 4.9. Crecimiento basal acumulado de <i>C. microchaete</i> en Concepción.....	136
Figura 4.10. Edad del turno biológico de corte de <i>Centrolobium microchaete</i> en Concepción.....	137
Figura 4.11. Crecimiento basal acumulado de <i>C. microchaete</i> en Santa Mónica .....	138
Figura 4.12. Edad del turno biológico de corte para <i>C. microchaete</i> en Santa Mónica .....	139
Figura 4.13. Crecimiento basal acumulado de <i>C. microchaete</i> en Santa Anita.....	140
Figura 4.14. Edad del turno biológico de corte para <i>Centrolobium microchaete</i> en Santa Anita.....	141
Figura 4.15. Crecimiento basal acumulado de <i>C. microchaete</i> en Zapocó .....	142
Figura 4.16. Edad del turno biológico de corte para <i>C. microchaete</i> en Zapocó.....	143
Figura 4.17. Crecimiento basal acumulado de <i>C. microchaete</i> en Makanaté .....	144
Figura 4.18. Edad del turno biológico de corte para <i>C. microchaete</i> en Makanaté.....	145
Figura 4.19. Crecimiento basal acumulado de <i>C. microchaete</i> en Guarayos–La Chonta .....	146
Figura 4.20. Edad del turno biológico de corte para <i>C. microchaete</i> en Guarayos–La Chonta.....	147
Figura 4.21. Crecimiento basal acumulado de <i>Copaifera chodatiana</i> .....	148
Figura 4.22. Edad del turno biológico de corte para <i>C. chodatiana</i> .....	149
Figura 4.23. Crecimiento basal acumulado de <i>Ficus boliviana</i> .....	150
Figura 4.24. Edad del turno biológico de corte para <i>F. boliviana</i> .....	151
Figura 4.25. Crecimiento basal acumulado de <i>Hymenaea courbaril</i> .....	152
Figura 4.26. Edad del turno biológico de corte para <i>H. courbaril</i> .....	153
Figura 4.27. Crecimiento basal acumulado de <i>Machaerium scleroxylon</i> .....	154
Figura 4.28. Edad del turno biológico de corte para <i>M. scleroxylon</i> .....	155
Figura 4.29. Crecimiento basal acumulado de <i>Platimiscium ulei</i> .....	156

Figura 4.30. Edad del turno biológico de corte para <i>Platimiscium ulei</i> .....	157
Figura 4.31. Crecimiento basal acumulado de <i>Zeyheria tuberculosa</i> .....	158
Figura 4.32. Edad del turno biológico de corte para <i>Z. tuberculosa</i> .....	159
Figura 4.33. Edad promedio de los turnos biológicos de corte para especies del distrito biogeográfico Chiquitano .....	167
Figura 4.34. Edad promedio de los turnos biológicos de corte para especies del distrito biogeográfico Guarayos .....	168

## CAPÍTULO V

Figura 5.1. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio.....	176
Figura 5.2. Especies en estudio y sus densidades respectivas de sus maderas.....	178
Figura 5.3. Incrementos medios por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico Chiquitano.....	179
Figura 5.4. Incrementos medios por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico Chiquitano .....	181
Figura 5.5. Incrementos medios por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico Chiquitano .....	182
Figura 5.6. Incrementos por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico de Guarayos .....	184
Figura 5.7. Incrementos por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico de Guarayos. ....	185
Figura 5.8. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>Amburana cearensis</i> .....	187
Figura 5.9. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>Anadenanthera colubrina</i> .....	188
Figura 5.10. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>Cariniana ianeirensis</i> .....	189
Figura 5.11. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>Cedrela fissilis</i> .....	190
Figura 5.12. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>C. microchaete</i> en Concepción .....	192
Figura 5.13. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>C. microchaete</i> en Santa Mónica. ....	193
Figura 5.14. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>C. microchaete</i> en Santa Anita.....	194
Figura 5.15. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>C. microchaete</i> en Zapocó.....	195
Figura 5.16. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>C. microchaete</i> en Makanaté.....	196
Figura 5.17. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio para <i>C. microchaete</i> en Guarayos–LC. ....	198
Figura 5.18. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio de <i>Copaifera chodatiana</i> .....	199
Figura 5.19. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio de <i>Ficus boliviana</i> . ....	200
Figura 5.20. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente	

y medio de <i>Hymenaea courbaril</i> .....	201
Figura 5.21. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio de <i>Machaerium scleroxylon</i> .....	202
Figura 5.22. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio de <i>Platimiscium ulei</i> .....	203
Figura 5.23. Crecimiento diamétrico acumulado y los incrementos basales corriente y medio de <i>Zeyheria tuberculosa</i> .....	204
Figura 5.24. Relaciones entre crecimiento diamétrico, edad y densidad de madera para 11 especies forestales del Cerrado, Bolivia.....	205
Figura 5.25. Estimación de los diámetros óptimos de corte a partir de las relaciones entre los valores máximos del ICA e IMA .....	206

## CAPÍTULO VI

Figura 6.1. Variación climática regional para la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano .....	217
Figura 6.2. Sección transversal de <i>Centrolobium microchaete</i> .....	219
Figura 6.3. Sección transversal del leño de <i>C. microchaete</i> .....	220
Figura 6.4. Cronologías estándares de ancho de los anillos de crecimiento de <i>Centrolobium microchaete</i> .....	227
Figura 6.5. Variación temporal de los estadísticos $r\text{-bar}$ y Expressed Population Signal <i>EPS</i> .....	229
Figura 6.6. Funciones de correlación para las cronologías de Concepción .....	231
Figura 6.7. Variaciones interanuales entre el crecimiento de <i>C. microchaete</i> y las variables climáticas en la localidad de Concepción.....	232
Figura 6.8. Funciones de correlación para las cronologías de Santa Anita .....	233
Figura 6.9. Variaciones interanuales entre el crecimiento de <i>C. microchaete</i> y las variables climáticas en la localidad de Santa Anita.....	234
Figura 6.10. Funciones de correlación para las cronologías de Santa Anita y Zapocó .....	235
Figura 6.11. Variaciones interanuales entre el crecimiento de <i>C. microchaete</i> y las variables climáticas en la localidad de Zapocó .....	236
Figura 6.12. Funciones de correlación para las cronologías de Santa Mónica.....	237
Figura 6.13. Variaciones interanuales entre el crecimiento de <i>C. microchaete</i> y las variables climáticas en la localidad de Santa Mónica .....	238
Figura 6.14. Funciones de correlación para las cronologías de Makanaté.....	239
Figura 6.15. Variaciones interanuales entre el crecimiento de <i>C. microchaete</i> y las variables climáticas en la localidad de Makanaté.....	240
Figura 6.16. Funciones de correlación para las cronologías de Makanaté.....	241
Figura 6.17. Variaciones interanuales entre el crecimiento de <i>C. microchaete</i> y las variables climáticas en la localidad de Guarayos–La Chonta .....	242

## LISTA DE TABLAS

---

Tabla 1.1. Relaciones entre la estacionalidad climática y los ciclos de crecimiento en los árboles.....	6
Tabla 1.2. Localización geográfica de los sitios de estudio y sus respectivos distritos biogeográficos.....	12
Tabla 2.1. Identificación taxonómica de las especies forestales en estudio.....	30
Tabla 2.2. Principales características macroscópicas de los anillos de crecimiento.....	62
Tabla 3.1. Número de árboles maderables por especies y sus rangos diamétricos.....	72
Tabla 3.2. Ciclos de corta (CC) y diámetros mínimos de corte (DMC) para dos Distritos Biogeográficos Chiquitos y Guarayos.....	73
Tabla 3.3. Número de árboles de <i>C. microchaete</i> por sitios de muestreo y sus rangos diamétricos.....	73
Tabla 3.4. Diferencias regionales en incremento anual de <i>C. microchaete</i> .....	110
Tabla 3.5. Incremento diamétrico anual de especies colectadas pertenecientes al distrito biogeográfico de Guarayos.....	111
Tabla 3.6. Incremento diamétrico de especies colectadas pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano.....	112
Tabla 4.1. Ecuaciones de regresión no lineal Log-normal y Weibull.....	126
Tabla 4.2. Crecimiento basal acumulado e incremento medio anual en área basal de especies del distrito biogeográfico Chiquitano.....	160
Tabla 4.3. Crecimiento basal acumulado e incremento medio anual en área basal de especies del distrito biogeográfico de Guarayos.....	161
Tabla 4.4. Estadísticos obtenidos a partir de las funciones Log-normal y Weibull.....	164
Tabla 4.5. Parámetros empleados en las funciones Log-normal y Weibull.....	165
Tabla 4.6. Estadísticos obtenidos a partir de las funciones Log-normal y Weibull aplicados en <i>Centrolobium microchaete</i> .....	166
Tabla 4.7. Parámetros empleados en las funciones Log-normal y Weibull para <i>Centrolobium microchaete</i> .....	166
Tabla 5.1. Tiempo transcurrido para que tres especies del distrito biogeográfico Chiquitano pasen a la siguiente clase.....	180
Tabla 5.2. Tiempo transcurrido para que tres especies del distrito biogeográfico Chiquitano pasen a la siguiente clase.....	181
Tabla 5.3. Tiempo transcurrido para que <i>C. microchaete</i> en tres localidades del distrito biogeográfico Chiquitano pasen a la siguiente clase.....	183
Tabla 5.4. Tiempo transcurrido para que tres especies del distrito biogeográfico de Guarayos pasen a la siguiente clase.....	184
Tabla 5.5. Tiempo transcurrido para que <i>C. microchaete</i> en tres localidades del distrito biogeográfico de Guarayos pasen a la siguiente clase.....	185
Tabla 5.6. Estimación de los diámetros óptimos de corte para 10 especies en estudio.....	208
Tabla 5.7. Estimación de los diámetros óptimos de corte para <i>Centrolobium microchaete</i> en las seis localidades de estudio.....	209
Tabla 6.1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo y número de árboles muestreados.....	217
Tabla 6.2. Estaciones meteorológicas en las proximidades de los sitios de estudio.....	224



Tabla 6.3. Incremento anual de <i>Centrolobium microchaete</i> en los distritos biogeográficos Chiquitos y Guarayos .....	226
Tabla 6.4. Número de individuos y radios por sitio, periodo cubierto y estadísticos más importantes de las cronologías desarrolladas .....	228
Tabla 6.5. Coeficientes de correlación entre índices de crecimiento para los seis sitios de muestreo .....	230
Tabla 7.1. Comparación entre las pautas de manejo establecidas por la Ley Forestal de Bolivia y las resultantes de los estudios realizados en este trabajo.....	257

# CAPÍTULO I

---

## INTRODUCCION GENERAL



### Tabla de Contenidos

---

1. Introducción.....	1
1.1. Estudios dendrocronológicos en las regiones tropicales.....	5
2. Objetivo General.....	10
2.1. Objetivos Específicos.....	10
3. Área del Estudio.....	11
3.1. Distrito biogeográfico Chiquitano.....	13
3.2. Distrito biogeográfico de Guarayos.....	16
4. Organización de la tesis.....	19
5. Referencias.....	21

## Resumen

En el presente capítulo se realiza una introducción general sobre el tema de trabajo propuesto en esta tesis doctoral. Desde la perspectiva de la actualidad forestal en Bolivia se enumeran las amenazas que atentan con la conservación de los bosques tropicales. Así mismo, se presenta una revisión exhaustiva sobre los antecedentes dendrocronológicos en bosques tropicales, enfatizando la necesidad de aplicar técnicas dendrocronológicas para proveer información a corto plazo sobre tasas de crecimiento y edad de los árboles tropicales. Se incluye una descripción ecológica y ambiental de la región en estudio. Se define el objetivo general y la aplicación científico-técnica de las técnicas dendrocronológicas en especies clave de estos bosques tropicales para generar información relevante para su manejo a perpetuidad. Finalmente se definen los objetivos particulares que irán desarrollando en los siguientes capítulos.

### 1. Introducción

Históricamente el crecimiento económico de Bolivia, como el de la mayoría de los países latinoamericanos, recae en la explotación de sus recursos naturales renovables y no renovables, los bosques nativos han sido un componente importante de este proceso económico en Bolivia. Recientemente se ha ampliado la red nacional de caminos, y por lo tanto se ha facilitado el acceso a la mayoría de los bosques nativos remanentes del sector Amazónico, del Cerrado Boliviano y del Pantanal. A pesar de la baja densidad de población en las áreas boscosas de Bolivia, la ordenación sostenible de los bosques continúa siendo un desafío. El proceso de expansión de la frontera agrícola se ha acelerado notablemente en los últimos años en respuesta a una mayor demanda mundial de alimentos, impulsada por los relativamente altos precios de la soya, los forrajes y los biocombustibles. Solo en Bolivia, estas actividades resultan en una pérdida anual de aproximadamente 300 mil hectáreas de bosque (Bolfor II 2009). Estos procesos, favorecidos por la mayor efectividad de las nuevas tecnologías para el desmonte, ponen en riesgo la conservación de los bosques nativos tropicales no solo en Bolivia sino en toda Latinoamérica (Steininger *et al.* 2001, Rojas *et al.* 2003, Killeen *et al.* 2007).

Durante el período 1993–2005, se estima que la deforestación en Bolivia superó los 3 millones de hectárea (Bolfor II 2009). Es poco probable que el ritmo de deforestación disminuya en un futuro próximo, en la medida en que no se dispongan de condiciones adecuadas para generar

una rentabilidad suficiente, o no se cuente con incentivos económicos que eviten el cambio de uso del suelo para actividades productivas más rentables en el corto plazo, aún cuando resulten insostenibles en el mediano o largo plazo. Hasta los noventa, los bosques tropicales de Bolivia estaban en su mayoría casi intactos, pero las tasas de conversión de estos bosques a cultivos y producción de ganado se han incrementado en la última década (Rojas *et al.* 2003, Killeen *et al.* 2007).

Otra importante amenaza para los bosques nativos en Bolivia y su manejo sostenible es el aprovechamiento ilegal, el cual no ha sido controlado adecuadamente por el actual régimen forestal. Esta actividad incluye el desmonte ilegal no solo de pequeñas sino también de grandes superficies de bosques, incluyendo los árboles ubicados en las franjas de protección de cursos de agua. La madera proveniente de estas cortas ilegales se emplea para satisfacer la demanda de un mercado interno que busca productos de bajo precio sin importar su origen. Los incendios forestales registrados con mayores incidencias durante las últimas décadas representan sin embargo la mayor amenaza para los bosques nativos de Bolivia (Blate 2005, Resnikowski & Wachholtz 2007). Con consecuencias desastrosas para la biodiversidad regional y el clima mundial a través de las emisiones, los incendios forestales en Bolivia han aumentado en los últimos 10 años, tanto en términos de frecuencia como de área afectada (FAO 2007). Un análisis de las variaciones interanuales en las áreas afectadas por incendios forestales, muestra que los incendios fueron más extensos en los años 1999 y 2005, años asociados con eventos El Niño–Oscilación del Sur, que se reflejan en sequías regionales en los llanos de Bolivia y en toda la Amazonía en general (FAO 2007). Las pérdidas de recursos forestales y de biodiversidad que ocasionan los incendios ascienden en Bolivia a un promedio de 0,9 millones de hectáreas de bosque cada año (FAO 2007).

Los bosques tropicales de Bolivia desde alrededor de 300-400 años atrás, estuvieron sujetos a la ocupación de seres humanos (Paz-Rivera & Putz 2009). Esta mutua subsistencia a lo largo se convirtió en demanda por parte de la sociedad para satisfacer múltiples funciones. Muchas de estas demandas se han convertido en una amenaza constante contra los principios de sostenibilidad y el uso racional del bosque. Bolivia extrae anualmente más de 450.000 m<sup>3</sup> de madera (Bojanic 2002, ITTO 2005) que provienen de 8 millones de hectáreas de bosque bajo manejo forestal. De este total, 2 millones de hectáreas corresponden a bosques certificados (Smartwood 2004b, CFV 2007). La sostenibilidad de los planes de manejo forestal está basada

en ciertos supuestos teóricos, como la definición de los diámetros mínimos de corte, de los ciclos de corte y del porcentaje de árboles semilleros que deben quedar en pie (MDSMA 1997a). Muchos de estos supuestos no están basados en un conocimiento profundo de la dinámica forestal de los bosques tropicales. Su aplicación en el mediano y largo plazo, podría conducir a un rápido proceso de fragmentación y una conversión de los principales bosques productores a bosques improductivos (López 2003, Brien & Zuidema 2005, Dauber *et al.* 2005, Brien & Zuidema 2006b, Brien & Zuidema 2007).

En respuesta a estos procesos extensivos de deforestación y los cambios climáticos registrados, los desastres ambientales en Bolivia se han incrementado notablemente en las últimas décadas. Los estudios climáticos indican que en respuesta al calentamiento global, las precipitaciones en los llanos de Bolivia están aumentando paulatinamente (Ronchail 1995, IPCC 2007). A su vez, este incremento en las precipitaciones está siendo acompañado por un aumento en la variabilidad climática, con intensificación de eventos extremos tales como inundaciones y sequías. Estos eventos en gran parte también están acelerando la degradación de los bosques, convirtiendo las partes más bajas de los bosques en áreas inundables y aumentando los incendios forestales, tanto en frecuencia como en intensidad (FAO 2007).

Los hechos anteriormente expuestos dan claras evidencias de la necesidad de establecer políticas tendientes a la conservación de los ecosistemas forestales a través de la creación de reservas y bosques de protección en conjunto con un manejo silvicultural sustentable de los bosques remanentes. Estas políticas de conservación deben basarse en un claro conocimiento de los cambios ambientales que están ocurriendo hoy en Bolivia y en la capacidad de los ecosistemas forestales de responder a la nueva dinámica ambiental impuesta por las actividades humanas y el cambio climático (FAO 2007, IPCC 2007). Ante estos eminentes cambios ambientales y los procesos acelerados de deforestación, existe la necesidad de buscar métodos rápidos y precisos que brinden información confiable y científicamente probada, la que fácilmente pueda aplicarse a la elaboración de las estrategias de conservación, planificación y usos sostenible a largo plazo de los recursos forestales de Bolivia.

La dendrocronología es una herramienta muy útil para reconstruir la historia ambiental de una región, así como para proveer información dendroecológica de inmediata aplicabilidad en planes de manejo forestal (Kitzberger *et al.* 2000, Villalba 2000, Brien & Zuidema

2005, Brienen & Zuidema 2006b, Brienen & Zuidema 2007, Schöngart 2008). En numerosas regiones de América del Sur, los anillos de crecimiento han sido exitosamente empleados para reconstruir las variaciones temporales y espaciales de temperatura, la precipitación y los caudales de los ríos durante las últimas centurias e inclusive algunos milenios (Cobos & Boninsegna 1983, Lara & Villalba 1993, Villalba *et al.* 1998a, Villalba *et al.* 2003). En la región de las Yungas del Noroeste Argentino, que es una continuación de formaciones boscosas similares a las del sur de Bolivia, numerosas cronologías han sido desarrolladas a partir del nogal criollo (*Juglans australis*) y el cedro rosado (*Cedrela lilloi*; (Villalba *et al.* 1987, Villalba *et al.* 1992). Estas cronologías han sido empleadas para proveer un panorama detallado de las variaciones de la temperatura y la precipitación en el Noroeste Argentino durante los últimos 200–300 años (Villalba *et al.* 1998a).

A su vez, los anillos de los árboles han sido exitosamente empleados para reconstruir la historia de fuegos en diversos sectores de los Andes Patagónicos (Kitzberger *et al.* 1997, Veblen *et al.* 1999, Gonzales 2005) y en el Noroeste Argentino (Grau & Veblen 2000, Grau 2001). Por su parte, la medición del espesor de los anillos anuales de crecimiento permite determinar la velocidad de crecimiento de las diferentes especies del bosque bajo diferentes condiciones ambientales. Estas mediciones permiten determinar los turnos de rotación biológicos y económicos más adecuados para fomentar el manejo sustentable y la conservación de los bosques naturales.

Este estudio doctoral empleó técnicas dendroecológicas y dendroclimáticas para desarrollar una historia ambiental de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano (*sensu* (Navarro & Maldonado 2004), Departamento Santa Cruz, Bolivia. Ante el vacío de información existente sobre las tasas de crecimiento, edades de los árboles y relaciones del crecimiento con el clima regional, en este trabajo se intentan desarrollar registros dendroclimáticos, que provean el contexto temporal para interpretar la dinámica climática y los cambios ambientales de las últimas décadas. Bajo un escenario de cambios ambientales se establecerán las relaciones entre el clima local y el crecimiento de los árboles con buenas características dendrocronológicas. A su vez, se proporcionaran medidas cuantitativas sobre las tasas pasadas y presentes de crecimiento, los tiempos necesarios para alcanzar un determinado diámetro y la edad de los árboles de las especies de importancia forestal en la región, con el propósito de

proveer pautas para el manejo sustentable de los bosques de la provincia biogeográfica Cerrado Boliviano en el contexto del presente escenario ambiental extremadamente dinámico.

### **1.1. Estudios dendrocronológicos en las regiones tropicales**

A pesar del creciente interés en aplicar métodos dendrocronológicos en ambientes tropicales y subtropicales, el empleo de los anillos de árboles en el Neotrópico se ha visto limitado por la dificultad de hallar especies con bandas de crecimiento claramente distinguibles y que provean información consistente entre los diferentes radios de los árboles creciendo en un sitio ecológicamente homogéneo (Fritts 1976). Varios elementos se combinan para que los estudios de anillos de crecimiento en los trópicos no hayan tenido una repercusión similar a la alcanzada en las regiones extra-tropicales. La escasez de especies con anillos anatómicamente distinguibles (Eckstein *et al.* 1981), la presencia en general de árboles poco longevos (Worbes & Junk 1999), pero ver (Fichtler *et al.* 2003), o la alta tasa de descomposición de la madera muerta (Bultman & South Well 1976), son factores que han dificultado el avance de estudios dendrocronológicos en los trópicos.

La formación de anillos anuales de crecimiento en el leño de las especies arbóreas resulta de la periodicidad en el tipo (vasos, parénquima, fibras, fibrotraqueidas) y forma (tamaño del lumen, engrosamiento de la pared celular) de los elementos leñosos formados por el cambium (Carlquist 1988). La presencia de anillos de crecimiento demarcados es una característica bien definida en el leño de la mayoría de las especies arbóreas y arbustivas que crecen en las regiones templadas y frías (Villalba *et al.* 1998b). En consecuencia, los estudios dendrocronológicos se han desarrollado principalmente en estas regiones del mundo, donde han sido aplicadas en campos tan diversos como el manejo forestal, climatología, hidrología, geomorfología, e inclusive las artes. En regiones de climas fríos y templados la actividad cambial está generalmente regulada por el fotoperíodo (horas de luz) y la temperatura. En la primavera, existe un flujo rápido de hormonas de crecimiento que estimula la producción de los elementos leñosos tempranos. A medida que la estación de crecimiento transcurre el crecimiento apical cesa, hay cambios en la síntesis de hormonas y comienza la formación de elementos característicos del leño tardío. Al finalizar el verano, el tejido cambial entra en el período de dormancia y permanece inactivo hasta la próxima primavera (Jacoby 1989).

A medida que nos acercamos al ecuador, la estacionalidad en la temperatura es menos marcada o prácticamente inexistente (Worbes & Junk 1999). La falta de una estacionalidad climática bien definida, es decir de diferencias climáticas entre las estaciones del año, parecería ser el principal causante de la ausencia de anillos anuales en los árboles tropicales. La falta de diferencias climáticas entre verano e invierno determina un crecimiento leñoso bastante uniforme durante todo el año sin un período de dormancia bien definido.

Tabla 1.1. Relaciones entre la estacionalidad climática (hídrica y térmica) y los ciclos de crecimiento en las especies arbóreas (adaptado de Jacoby 1989).

		Estacionalidad Térmica		
		Marcada	Moderada	Débil
Estac. Hídrica	Marcada	estación fría caída de las hojas  estación cálida brotación y crecimiento	estación seca caída de hojas  estación húmeda brotación y crecimiento	estación seca caída de hojas  estación húmeda brotación y crecimiento
	Moderada	estación fría caída de las hojas  estación cálida brotación y crecimiento	estación fría caída de hojas?  estación cálida brotación y crecimiento?	estación seca caída de hojas?  estación húmeda brotación y crecimiento?
	Débil	estación fría caída de las hojas  estación cálida brotación y crecimiento	estación fría caída de hojas?  estación cálida brotación y crecimiento?	caída continua de las hojas  <b>crecimiento continuo</b>

Aún cuando la presencia de bandas de crecimiento en árboles tropicales ha sido documentada desde principios del siglo XX (Coster 1927, 1928), todavía hoy existe la idea generalizada de que las especies arbóreas que crecen en los trópicos no forman anillos de crecimiento en su leño (Eckstein *et al.* 1981). Es una realidad que muchas especies tropicales no forman bandas



de crecimiento, o cuando estas bandas están presentes no responden a ciclos anuales. No obstante, las bandas de crecimiento si están presentes en los árboles de regiones tropicales o subtropicales con una marcada estacionalidad en las precipitaciones, que en conjunto con condiciones particulares del sitio, pueden inducir un período anual de dormancia.

En la Tabla 1.1, se representan las interacciones entre la estacionalidad climática y la formación de los anillos de crecimiento (Jacoby 1989). Podemos distinguir dos tipos de estacionalidad una térmica y otra hídrica. La primera se da cuando existe una marcada diferencia entre las temperaturas de verano e invierno y la segunda cuando tenemos un período seco y otro húmedo bien definidos a lo largo del año. La formación de anillos de crecimiento puede responder a ciclos bien marcados en la estacionalidad térmica o hídrica. Como indicamos anteriormente, la estacionalidad térmica es la que induce los anillos de crecimiento en los árboles de zonas templadas y frías. Por el contrario, en las regiones tropicales con estacionalidad térmica muy débil, la formación de anillos de crecimiento respondería a la presencia de una marcada estacionalidad hídrica. En regiones donde tanto la estacionalidad térmica como la hídrica son débiles, el crecimiento radial sería continuo y, teóricamente, no tendríamos formación de bandas de crecimiento.

Si las condiciones climáticas necesarias para la formación de anillos de crecimiento en la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano fueran las mismas establecidas por (Worbes 1992) para la región Amazónica (la existencia de un período seco de 3 meses al año con precipitaciones menores a los 60 mm mensuales), la mayoría de las especies arbóreas que crecen en esta región deberían presentar bandas de crecimiento anuales bien diferenciadas (Fig. 1.2). Un estudio preliminar de la estacionalidad hídrica basados en la precipitación de 29 estaciones meteorológicas de Bolivia, muestra que en solo 4 estaciones (Rurrenabaque, San Borja, San Ignacio Moxos y Santa Cruz de la Sierra) el número de meses durante el período seco con precipitaciones menores a los 60 mm es menor que 3 (Fig. 1.1a).

Estas localidades están ubicadas en la parte norte y central de los llanos bolivianos entre los 100 y 150 msnm, al norte del bosque Chiquitano Seco, área propuesta para nuestro estudio. Aún si tomamos un criterio mucho más estricto, y consideramos el número de meses por año en que las precipitación mensuales no superan los 30 mm, encontramos que en 15 de las 29 estaciones consideradas, se registra un período anual de 3 meses consecutivos con precipitaciones menores a los 30 mm (Fig. 1.1b). Empleando el primer criterio, vemos que el

distrito biogeográfico Chiquitano tiene en promedio entre 4 a 5 meses consecutivos al año con precipitación menores a los 60 mm (Fig. 1.1a). Considerando un criterio más estricto, vemos que gran parte del distrito biogeográfico Chiquitano tiene al menos 2 meses consecutivos con precipitaciones menores a los 30 mm. Esta importante estacionalidad de la precipitación en la parte oriental de Bolivia debería forzar una ciclicidad en el crecimiento de las plantas leñosas con la consiguiente formación de bandas de crecimiento.

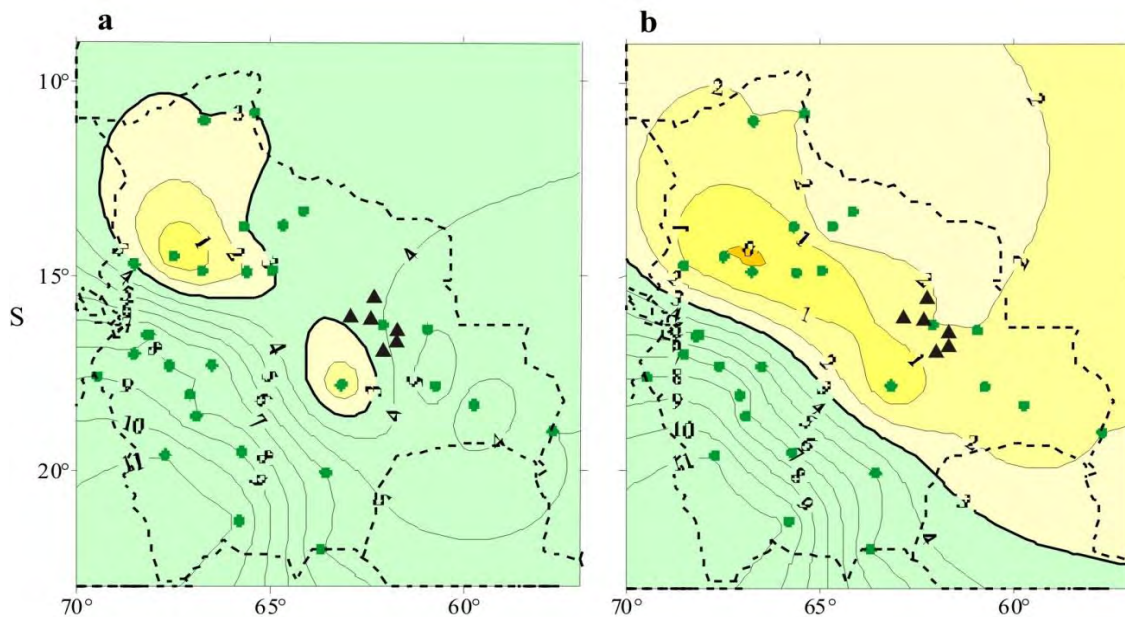


Figura 1.1. Duración del período seco en el territorio de Bolivia. Número de meses consecutivos por año en los cuales las precipitaciones mensuales son inferiores a los 60 mm (a) y a los 30 mm (b). Se muestra esquemáticamente la localización de los sitios de muestreo (▲) en ambas figuras. Los puntos verdes en las figuras corresponden a las estaciones meteorológicas empleadas en este análisis.

A pesar de las dificultades en la determinación de las bandas anuales de crecimiento, los estudios dendrocronológicos en especies tropicales han posibilitado determinar la edad de los individuos de algunas especies (Worbes & Junk 1999), definir las respuestas del crecimiento a los cambios estacionales de la precipitación (Dunisch & Gasparotto 2003) y precisar el tiempo necesario para que una especie alcance los diámetros mínimos de corte (Stahle *et al.*

1999, Therrell *et al.* 2007, Schöngart 2008).

Cuatro especies forestales (*Amburana cearensis*, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga catenaeformis*, *Peltogine cf. heterophylla*) han sido recientemente empleadas para proveer información sobre

la velocidad de crecimiento de los árboles en la región Amazónica Boliviana (Brienen & Zuidema 2005, Brienen & Zuidema 2006a). Cronologías preliminares han sido desarrolladas con estas especies y los índices de crecimiento comparados con el clima regional. La variación interanual en la precipitación pareciera ser el factor más fuertemente correlacionado con el crecimiento (Brienen & Zuidema 2005). Las edades máximas reportadas para estas especies oscila entre 123 años para *Cedrelinga catenaeformis* y 308 años para *Cedrela odorata* (Brienen & Zuidema 2005, Brienen & Zuidema 2006b, Brienen & Zuidema 2006a). En *Pseudolmedia laevis*, especie procedente de La Chonta, Guarayos, se encontró ejemplares con edades máximas de 262 años (Rozendaal 2010). A su vez, los diámetros mínimos de corte (DMC) fueron determinados para cinco especies comerciales en la Amazonia Boliviana. Estas edades oscilan entre los 61 y los 179 años (Brienen & Zuidema 2005). Finalmente, a partir del análisis de los anillos de crecimiento se calcularon los volúmenes aprovechables para una segunda cosecha, determinándose que para un ciclo de corte de 20 años, el volumen de manera disponible alcanzará solamente entre un 36 y un 50% del volumen aprovechable inicialmente (Brienen & Zuidema 2007). Como también para establecer tasas y patrones de crecimiento en especies forestales. En cuatro especies de la Amazonia Boliviana se observó un aumento histórico del crecimiento, en árboles juveniles de *Cedrela* 10–15 cm diámetro, en *Clarisia* de 2–4 cm, *Peltogyne* de 1–3 y 6–8 cm diámetro y para *Pseudolmedia* en las clases diamétricas de 2–8 cm (Rozendaal 2010).

En la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano y sus áreas de transición, los primeros estudios dendrocronológicos se realizaron en la provincia de Guarayos, Departamento de Santa Cruz (López 2003). En la localidad de La Chonta se seleccionaron individuos de once especies comerciales en áreas que fueron quemadas por incendios forestales en 1995. De esta forma se pretendía contar con un control cronológico que permitiera definir el carácter anual de las bandas de crecimiento. Se observó que la mayoría de las especies estudiadas presentan bandas de crecimiento anuales. En la mayoría de las especies los anillos de crecimiento están delimitados por bandas de tejido parenquimático terminal. En algunas especies el fechado es dificultoso por la presencia de lentes y falsos anillos, sin embargo en algunos individuos se logró co-fechar (*sensu* Holmes 1983) radios de un mismo árbol. En forma preliminar se observó que el crecimiento inicial de las especies estudiadas es más lento de lo supuesto para

los ciclos de corta establecidos en los Planes de Manejo Forestal establecidos en Bolivia (López 2003).

## 2. Objetivo General

El empleo de los métodos dendrocronológicos en regiones subtropicales y tropicales es todo un desafío técnico y científico. El objetivo del trabajo propuesto es determinar la presencia de especies forestales con anillos de crecimiento precisamente demarcados en la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano, Departamento de Santa Cruz, Bolivia. En base a estos anillos se procederá a establecer las tasas de crecimiento de estas especies en distintos distritos biogeográficos del Cerrado Boliviano con el fin de dar respuesta a interrogantes ecológicos que sean de aplicación inmediata para el manejo forestal sostenible a largo plazo. Al mismo tiempo se proveerán datos sobre la edad de los árboles, los tiempos requeridos para alcanzar un determinado diámetro y la relación entre los índices de crecimiento con las variables ambientales de la región de estudio.

Hipótesis. La hipótesis que guía el presente estudio establece que dada la marcada estacionalidad en las precipitaciones de la región, con al menos tres-cuatro meses consecutivos con precipitaciones menores a los 60 mm, existen especies de árboles nativos creciendo en sitios ecológicamente particulares que presentan anillos de crecimiento claramente demarcados. Asimismo, existen varias ideas en la tesis que constituyen hipótesis implícitas que fueron evaluadas en la tesis tales como: a) diferencias en las tasas de crecimiento de los árboles en distintas regiones climáticas del Cerrado, b) relaciones entre el ritmo de crecimiento y densidad de la madera, y c) relaciones entre variaciones climáticas y crecimiento radial, entre otras. A su vez, en un contexto aplicado, se postuló la hipótesis general de que el uso de las reglas de manejo generales y no específicas en la Ley Forestal Boliviana no se corresponde con los ritmos de crecimiento de las diferentes especies en las diferentes regiones estudiadas.

### 2.1. Objetivos Específicos

Para lograr el objetivo general propuesto en esta tesis, fue necesario concretar las siguientes actividades:

1. – Realizar un inventario xilológico de las especies forestales de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano en el Departamento de Santa Cruz, con el objetivo de determinar aquellas especies con anillos de crecimiento demarcados.
2. – Determinar el patrón anatómico que define las bandas de crecimiento y las principales características dendrocronológicas de las especies en estudio creciendo en los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano en el Departamento de Santa Cruz, Bolivia.
3. – Establecer, en base al análisis de los anillos de crecimiento, los incrementos diámetros anuales y su variación en el tiempo para las especies forestales con anillos visibles de los bosques del área de estudio.
4. – Determinar la edad de los árboles que alcanzan un Diámetro Mínimo de Corta (DMC) y calcular los turnos biológicos de corte de las especies forestales más importantes de la región del cerrado Boliviano.
5. – Desarrollar cronologías de ancho de anillos a partir de las especies seleccionadas en función de sus características dendrocronológicas.
6. – Establecer las relaciones entre el crecimiento de los árboles y las variaciones climáticas para estimar las variaciones futuras en el crecimiento de los bosque de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano en relación al Cambio Climático Global.

### **3. Área del Estudio**

Los sitios de muestreo se localizaron en dos de los distritos de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano (Navarro & Maldonado 2004). Esta provincia, corresponde al sector Boliviano de la provincia del Cerrado, una de las más extensas de América del Sur, la que se extiende desde el centro–norte de Brasil hasta el este de Bolivia y noreste de Paraguay. En la clasificación biogeográfica de (Cabrera & Willnk 1973) esta formación también es llamada provincia del Cerrado.

La provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano está compuesta por cinco distritos biogeográficos: Guarayos, Chiquitos, Huanchaca, Chiquitano Meridional y Santa Cruz

(Fig. 1.2). Estos distritos cubren una gran amplitud territorial y cuentan con una alta biodiversidad característica de ambientes tropicales estacionales. Estos distritos incluyen los 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).

Tabla 1.2. Localización geográfica de los sitios de estudio y sus respectivos distritos biogeográficos. Los distritos biogeográficos se establecieron según (Navarro & Maldonado 2004).

Sitio de estudio		Localización Geográfica			
Nombre	distrito biogeográfico	Código	Latitud S	Longitud W	Altitud (m.s n.m.)
Concepción	Chiquitano	IN	16° 22'	61° 55'	503
Santa Anita	Chiquitano	SA	16° 32'	61° 55'	423
Zapocó	Chiquitano	ZA	16° 27'	61° 44'	464
Santa Mónica	Guarayos	SM	15° 58'	62° 22'	420
Makanaté	Guarayos	MK	15 ° 29'	62° 17'	246
La Chonta	Guarayos	LC	15° 38'	62° 46'	250

Los muestreos realizados para este estudio se localizaron en dos de estos cinco distritos (Fig. 1.2): el distrito biogeográfico Chiquitano al cual pertenecen las localidades de Concepción, Santa Anita y Zapocó, y el distrito biogeográfico de Guarayos, donde se localizan las localidades de Santa Mónica, Makanaté y Guarayos–LC (Tabla 1.2).

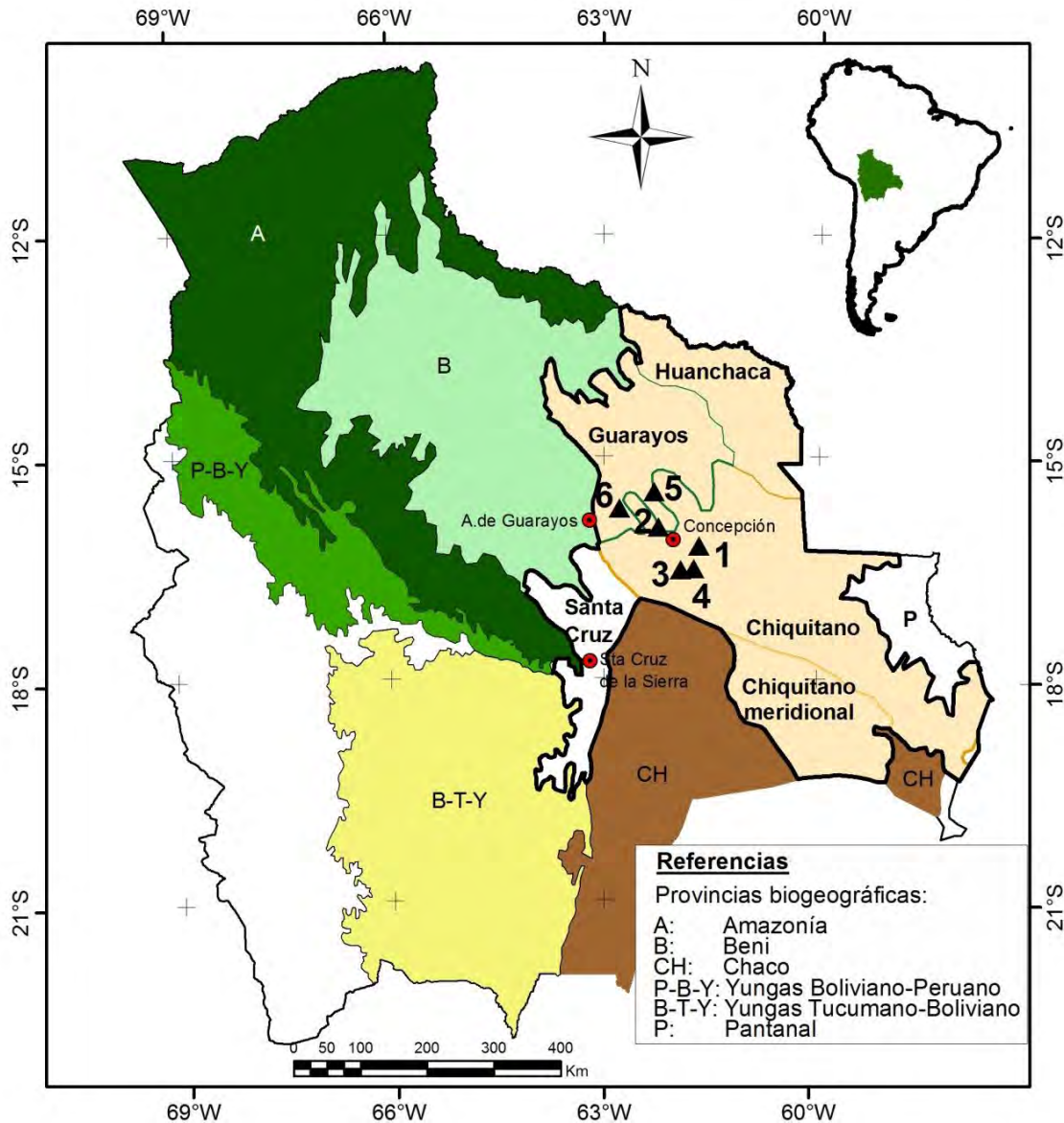


Figura 1.2. Mapa de las provincias biogeografías de Bolivia (tomado de Navarro y Maldonado 2004). La provincia biogeográfica del Cerrado se ha delimitado con una línea continua más gruesa y los 5 distritos que la forman están identificados con sus respectivos nombres. Se muestra además la ubicación de las áreas de estudio (▲): 1. Concepción, 2. Santa Mónica, 3. Santa Anita, 4. Zapocó, 5. Makanaté y 6. Guarayos-LC (La Chonta).

### 3.1. Distrito biogeográfico Chiquitano

El presente distrito forma parte del bosque seco característico del escudo Brasileño situado sobre planicies ligeramente onduladas con suelos de poca profundidad derivados de gneiss y granitos (Killeen *et al.* 1990). El relieve está dominado por serranías y mesetas con campos de

cerrados, sabanas, afloramientos rocosos y tierras más húmedas en los valles. Las alturas varían desde 300 hasta 1,200 m.

**Características del bosque.** Las formaciones boscosas de este distrito tienen, en general, un dosel que oscila entre los 15 y 20m de altura, con individuos emergentes que llegan hasta los 30 m de altura (Killeen *et al.* 1990). La mayoría de las especies son deciduas a semideciduas. Los árboles pierden sus hojas a medida que se acentúa la época seca. La mayoría de las especies dominantes en estos bosques son leguminosas incluyendo: *Machaerium scleroxylum* (morado), *Anadenanthera colubrina* (curupau), *Astronium fraxinifolium* (cuchi) y *Amburana cearensis* (roble). También son comunes en este distrito comunidades boscosas dominadas por palmares de *Orbignya phalerata* (cusi).

Estos bosques tienen una alta diversidad florística con mas 100 especies arbóreas por hectárea y más de 431 individuos para árboles con diámetros superiores a 10 cm y entre 237 y 113 individuos por hectárea con diámetros superiores a 20 cm La biomasa forestal en estos bosques, ha sido estimada entre 36 y 79, con un promedio de 57 toneladas/hectárea (Dauber *et al.* 1999). Sin embargo, solo se extrae aproximadamente 7–22 m<sup>3</sup>/hectárea de madera de algunas especies seleccionadas (Mostacedo *et al.* 2009).

Los bosques biogeográficos Chiquitano, en general corresponde a bosques secundarios. Estos bosques desde tiempos remotos estuvieron sometidos a una extracción altamente selectiva. La extracción de estas especies se realizaba ubicándose los árboles a cortarse y posteriormente ingresaban los motosierristas y luego la maquinaria pesada. Con esta forma de extracción, poco o nada se planificaba el ingreso de las maquinarias pesadas al bosque y por lo tanto el impacto de la actividad forestal al bosque remanente era alto, tomando en cuenta el volumen extraído. Este tipo de impacto tuvo un efecto directo sobre la estructura del bosque, según estudios realizados, el 75% de los árboles tiene por lo menos un bejuco y de este total el 40% tiene la copa totalmente infestada (Carse *et al.* 2000). A pesar de tener sus variaciones, este tipo de bosque tiene una considerable infestación de bejucos. Cabe destacar que existe una proporción considerable de ellos que se encuentran en el sotobosque.

**Clima.** La temperatura media anual para las estaciones meteorológicas de Concepción y San Javier, las más cercanas a nuestros sitios de estudio (Concepción, Santa Anita y Zapocó), es de 24,3°C y 23,2°C, respectivamente (datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología–SEMAHI–BOLIVIA). Las precipitaciones totales anuales para las



mismas estaciones son de 1,094 mm y 1,267mm, respectivamente (Fig. 1.3). Las precipitaciones presentan una notable estacionalidad. Las mismas están fuertemente concentradas en 5 a 6 meses (Noviembre a Abril), con una temporada seca acompañada por temperaturas algo más bajas en los meses de invierno (Junio a Septiembre).

Los sitios de muestreos correspondientes al presente distrito están ubicados específicamente en las localidades de Concepción, Santa Anita y Zapocó. Todas estas localidades cuentan con bosques de manejo forestal y por lo tanto poseen aéreas de aprovechamiento forestal con planes de manejo similares. A continuación se provee una breve descripción de cada uno de los sitios de muestreo.

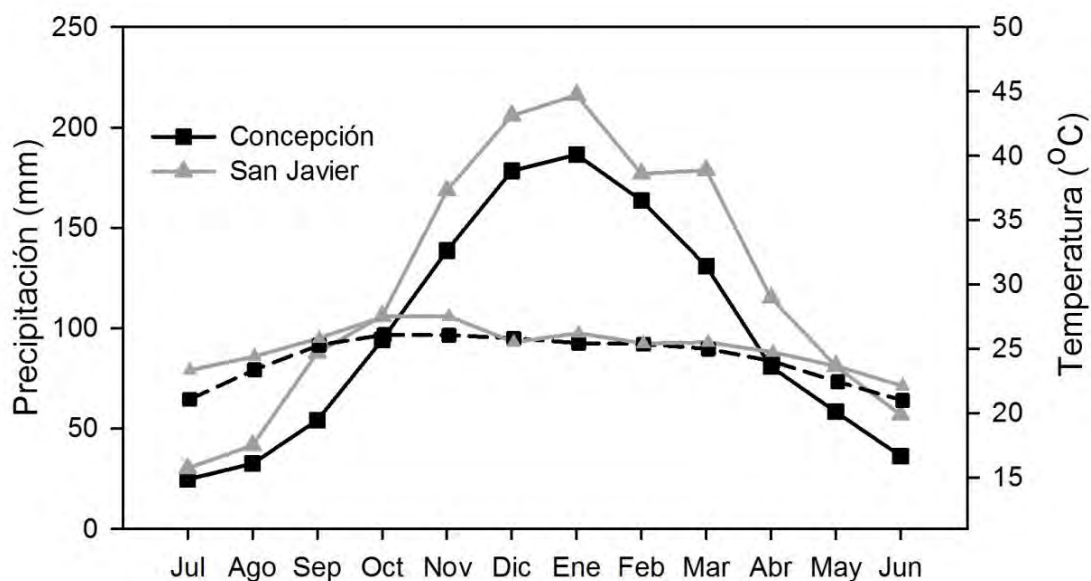


Figura 1.3. Clima diagrama construido a partir de los datos promedios de las estaciones meteorológicas de Concepción (periodos 1943–2006) y San Javier (1979–2008), ambas representativas del distrito biogeográfico de Chiquitos. Las líneas sólidas corresponden a la precipitación y las punteadas a la temperatura. Fuente (SENAMHI–Bolivia).

En **Concepción**, el área de muestro de 25 hectáreas de extensión se encontraba en la concesión forestal INPA. Se trata de un aprovechamiento forestal en bosque bajo correspondiente al sub–bloque 20–3 del área anual de aprovechamiento forestal de INPA. Una vez realizadas las mediciones dasométricas de los árboles seleccionados, los mismos fueron cortados por la empresa forestal encargada del aprovechamiento. Antes de retirar el tronco del lugar, se nos permitió tomar una sección transversal de la base del fuste recientemente

abatido. Las especies colectadas fueron *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla), *Anadenanthera colubrina* (curupaú) *Machaerium scleroxylon* (morado), *Guibourtia chodatiana* (sirari) y *Zeyheria tuberculosa* (tajibo mono). En general se trató de individuos con buenas características morfológicas externas que superaban los diámetros mínimos de corte ( $\geq 40$  cm) establecidos por la Ley Forestal Boliviana (MDSMA 1997b). El sistema de aprovechamiento está diseñado en bloques de 100 hectáreas y los ciclos de corte establecidos para esta concesión forestal privada son de 30 años. La misma cuenta con una superficie total de 30,000 hectáreas, de las cuales 23,000 hectáreas están destinadas al aprovechamiento forestal y 7,000 son reservas o áreas protegidas (SmartWood 2004a).

La localidad de **Santa Anita** forma parte del manejo forestal comunal de la TCO (Tierras Comunitarias de Origen) San Antonio de Lomerío. Esta comunidad tiene 5,000 hectáreas de bosques bajo manejo forestal con un área anual de aprovechamiento de 500 hectáreas. Los ciclos de rotación están establecidos en 25 años y al igual que en otras áreas el aprovechamiento se limita a especies con diámetros  $\geq 40$  cm. El sistema de aprovechamiento forestal se realiza en fajas. En una de estas fajas se colectó material leñoso de cuatro especies a saber: *Centrolobium microchaete*, *Amburana cearensis*, (roble) *Platimicium ulei* (tarara colorada) y *Cedrela fissilis* (cedro).

La comunidad de **Zapocó** forma parte del manejo forestal intercomunal de la TCO Zapocó, y cuenta con una superficie de 30,000 hectáreas de bosques, dentro de la cual se aprovecha anualmente un área aproximada de 1,000 hectáreas. Los ciclos de rotación están establecidos en 25 años para todas las especies con diámetros mayores de 40 cm. El sistema de aprovechamiento está diseñado en bloques. Solo se obtuvieron muestras de *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla) que era la única especie aprovechada al momento de nuestra visita.

### 3.2. Distrito biogeográfico de Guarayos

Esta región presenta suelos rojizos de textura media, ocasionalmente profundos, pobres en materia orgánica, con baja fertilidad, pero con mayor capacidad para la retención de humedad que en el distrito biogeográfico Chiquitano (Navarro & Maldonado 2004). Estas características ambientales facilitan el desarrollo de las masas boscosas, siendo el mayor

potencial de uso de estos suelos, el de bosques de producción forestal permanente. El distrito presenta en general un relieve casi plano, con pequeñas quebradas que forman la red de drenaje en épocas de lluvias. Las altitudes varían desde los 200 hasta los 480 m a medida que nos acercamos al escudo Precámbrico Brasileiro.

**Características de los bosques.** Este distrito está cubierto por bosques mésicos a más húmedos en la parte norte del Departamento de Santa Cruz, en contacto con el sector de la Cuenca Amazónica. En general las planicies sostienen un bosque alto siempre verde, similar a los bosques Amazónicos, mientras que las serranías llevan bosque Chiquitano en sus partes altas y bosques semidecuidos en sus laderas. La altura de los árboles oscila entre los 25m a 40m. Esta formación compuesta por bosques mésicos a sub-húmedos semidecuidos representa la transición entre el bosque húmedo Amazónico con el resto de los bosques deciduos de del distrito biogeográfico Chiquitano. Las especies más representativas de este distrito son: *Ficus boliviana* (bibosi), *Hura crepitans* (ochoo), *Swietenia macrophylla* (mara) y *Terminalia oblonga* (verdolago) entre otras.

En estos bosques se puede encontrar hasta 182 especies arbóreas. El número de individuos por hectárea puede alcanzar hasta 362 árboles con una producción de madera de 19 m<sup>3</sup>/hectárea, (Mostacedo *et al.* 2009). En cuanto a la capacidad de producción forestal de biomasa, en esta región los bosques alcanzan una producción entre 37 y 66, con promedio de 49 toneladas/hectárea (Dauber *et al.* 1999). Estos bosques tienen una estructura secundaria. Restos de cerámica fueron encontrados lo que evidencia la ocupación de seres humanos alrededor de 300-400 años atrás (Paz-Rivera & Putz 2009). Dichos patrones históricos podrían haber determinado la dinámica y la composición de especies, como haber determinado las edades máximas de los árboles que encontramos en este momento.

**Clima.** Este distrito tiene una temperatura media anual entre 25 a 28°C, mostrando los meses de junio y julio temperaturas medias de solo 3°C más bajas que los meses más cálidos (Octubre a Diciembre). La precipitación anual promedio oscila entre 1,400–1,600 mm (Fig. 1.4). Las mismas están concentradas durante el verano, con una notable estación seca en los meses de invierno. La época lluviosa está comprendida entre los meses de Octubre a Abril y la época seca de Mayo a Septiembre. Específicamente en las localidades pertenecientes a este distrito donde se desarrollaron los muestreos del material dendrocronológico fueron Santa Mónica, Makanaté y Guarayos–La Chonta. Las tres localidades cuentan con bosques bajo

manejo forestal y dos de ellas (Santa Mónica y Guarayos–La Chonta) cuentan con bosques certificados por Forest Stewardship Council (FSC). Por lo tanto, ambos sistemas poseen aéreas de aprovechamiento forestal y a continuación se provee una breve descripción de cada uno de los sitios de muestreo.

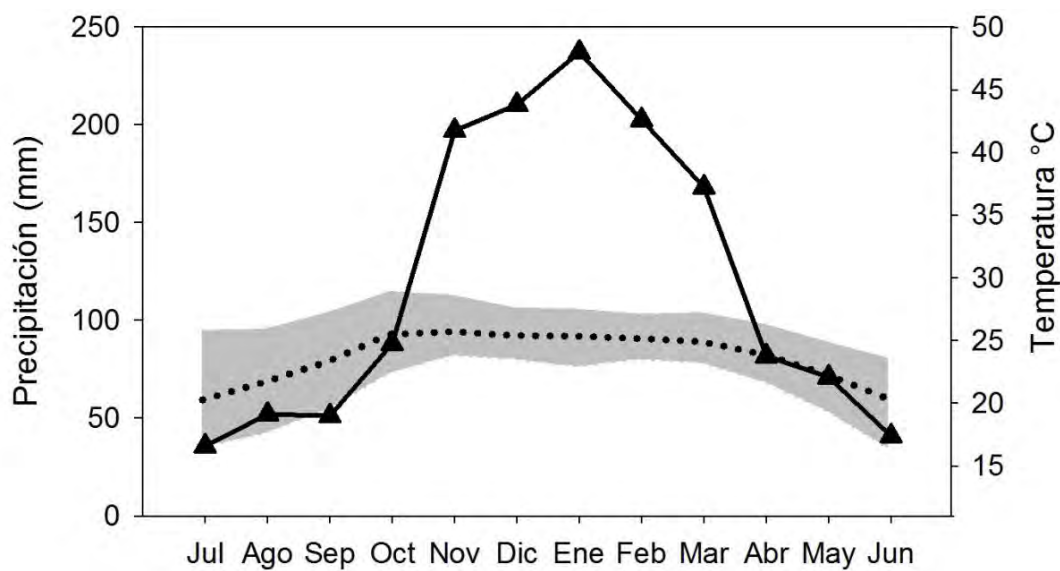


Figura 4. Climadiagrama construido en base a datos promedios de la estación meteorológica de Ascensión de Guarayos (periodos 1947–2006). Dicha estación se considera representativa del distrito biogeográfico de Guarayos. Fuente (SENAMHI–Bolivia), la precipitación mensual se representa con una línea sólida mientras que la banda gris corresponden a la fluctuación y la línea de puntos a de la temperatura mensual.

La Localidad de **Santa Mónica** está ubicada en un área de manejo forestal comunal que pertenece a las Tierras Comunitarias de Origen Monte Verde (TCO–Monte Verde). La superficie total de manejo forestal de esta comunidad es de 14,000 hectáreas, con ciclos de rotación de 25 años. El área anual de aprovechamiento es de 560 hectáreas y se cortan las especies maderables con diámetros ( $\geq 40$  cm) permitidos por la Ley Forestal Boliviana (MDSMA 1997a). El sistema de aprovechamiento forestal se realiza en fajas. En una parcela de 25 hectáreas perteneciente a la faja 2 se muestrearon secciones transversales de todos los árboles de *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla) que estaban siendo aprovechados. Las muestras fueron tomadas de los fustes y a su vez, estos en general poseían buenas características morfológicas externas.

La comunidad de **Makanaté** tiene un área de manejo forestal intercomunal que pertenece a la TCO–Monte Verde, aunque no se conoce la superficie exacta que maneja dicha comunidad, la superficie total de la TCO es de más de un millón de hectáreas. En el área con bosque bajo manejo forestal correspondiente a esta comunidad se tomaron secciones transversales de árboles que habían sido previamente cortados pertenecientes a la especie *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla).

La localidad de **Guarayos–LC** está identificada como Concesión Forestal **La Chonta**. Según la Superintendencia Forestal, esta concesión tiene una superficie total de 100,000 hectáreas, con ciclos de rotación de 30 años, y con un área anual de aprovechamiento de 2,376 hectáreas. El sistema de aprovechamiento está planificado en bloques dentro de los cuales se tomaron secciones transversales de los árboles que estaban siendo aprovechados. Las especies colectadas fueron las siguientes: *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla), *Ficus boliviana* (bibosí colorado), *Hymenaea courbaril* (paquí) y *Cariniana ianeirensis* (yesquero blanco). Estas especies fueron colectadas en dos visitas realizadas a la zona.

#### 4. Organización de la tesis

La presente tesis doctoral está compuesta por siete capítulos, los que están organizados de la siguiente manera:

Capítulo I. Este capítulo provee una introducción general con énfasis en la importancia de implementar pautas de manejo para el uso sustentable de los recursos forestales de los bosques Chiquitanos en Bolivia. Se incluye además, una breve descripción de las principales amenazas para el manejo sostenible.

Posteriormente se brinda una recopilación de los trabajos dendrocronológicos realizados en zonas tropicales, así como sus aplicaciones y la importancia de los mismos. Luego se exponen los objetivos generales y específicos de este estudio, así como las hipótesis que guiaron nuestro trabajo. Finalmente se presenta una descripción general de los distritos biogeográficos Chiquitano y Guarayos, donde se localizaron los sitios de muestreos. Se da información sobre las características climáticas y de los bosques más representativos incluyendo las especies dominantes en cada uno de ellos. Se presentan brevemente los sitios de estudio, el tipo de

organización social que lo administra y el sistema de aprovechamiento del bosque en cada sitio.

El Capítulo II trata sobre los anillos de crecimiento en árboles tropicales, problemas para su visualización y determinación del carácter anual de los mismos. A partir del inventario xilológico realizado en los sitios de muestreos ubicados en los distritos biogeográficos Chiquitano y Guarayos, se establece que especies presentan anillos de crecimiento visibles y se brinda una breve descripción del arreglo anatómico que facilita la visualización de los anillos, incluyéndose imágenes del leño. Asimismo para cada una de las especies colectadas, se realizó una evaluación de sus características dendrocronológicas, incluyendo la uniformidad circular de los anillos de crecimiento y otros elementos presentes como falsos anillos y lentes de crecimiento. Finalmente se determina que especies presentan patrones comunes de crecimiento entre radios de un mismo árbol y entre árboles provenientes de un mismo sitio.

El Capítulo III trata sobre los patrones del crecimiento diamétrico de las especies forestales de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano, incluyendo la descripción de los métodos empleados para establecer el ritmo de crecimiento y la distribución de los incrementos anuales en el tiempo para cada una de las especies estudiadas. Posteriormente se presentan los valores de los incrementos anuales, el número de ejemplares utilizados y el rango de tiempo observado para obtener dichos valores. Finalmente se comparan nuestros resultados sobre los incrementos diamétricos obtenidos a partir de los anillos de crecimiento, con datos derivados a partir de mediciones en parcelas permanentes con especies y sitios de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano.

El Capítulo IV hace énfasis en la determinación de los turnos biológicos de corte de especies forestales de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano, en base a los incrementos anuales determinados a partir de las mediciones de los anillos de crecimiento. Se describe el material usado y se discuten los métodos empleados en la determinación de los turnos biológicos de corte. Asimismo para cada una de las especies en estudio, se muestran los incrementos anuales en área basal y la edad que requieren los árboles para alcanzar los DMC establecidos por la Ley Forestal Bolivia. Se comparan nuestros resultados con diámetros mínimos de corte usados en los planes de manejo en Bolivia de acuerdo a la Ley Forestal Boliviana.

En el capítulo V, se discute las implicaciones de nuestro estudio en el manejo de los bosques, mediante la combinación de métodos dendrocronológicos y silvícolas, con el propósito de evaluar las pautas de manejo establecidas por la Ley forestal Boliviana. Se brindan pautas de manejo forestal ecológicamente viables para el uso y la conservación de los bosques nativos la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano.

El Capítulo VI presenta el desarrollo de cronologías de ancho de anillos a partir de las especies seleccionadas de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. En base a estas cronologías se establecen las relaciones entre el crecimiento de las especies y las variables climáticas empleando los datos meteorológicos de las estaciones más cercanas a los sitios de estudio. Finalmente se discute sobre las posibilidades actuales para evaluar el impacto del cambio climático en los bosques secos tropicales de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. Finalmente el capítulo VII cierra con las conclusiones más importantes de nuestro estudio.

## 5. Referencias

- BLATE, G. M. 2005. Modest trade-offs between timber management and fire susceptibility of a Bolivian semi-deciduous forest. *Ecological Applications* 15(5): 1649-1663.
- BOJANIC, A. 2002. Comercialización de productos forestales no maderables. Factores de éxito y fracaso. Marco legal y políticas relevantes para la comercialización interna y de exportación de productos no maderables en Bolivia. DFID R7925. PNUMA UNEPWCMC & ODI, DFID – FRP. Noviembre 2005 de: [http://quin.unep-wcmc.org/forest/ntfp/docs/Bolivia\\_policy\\_paper.pdf](http://quin.unep-wcmc.org/forest/ntfp/docs/Bolivia_policy_paper.pdf).
- BOLFOR II. 2009. Docier Forestal. Proyecto BOLFOR II, Santa Cruz, Bolivia: 286.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1-12.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006a. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Ecology* 94: 481-493.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006b. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226: 256–267.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 302-306.
- BULTMAN, J. D., and C. R. SOUTH WELL. 1976. Natural resistance of tropical American wood to terrestrial wood-destroying organisms. *Biotropica* 8: 71- 95.
- CABRERA, A. L., and A. WILLNK. 1973. Biogeografía de América Latina. Organización de los Estados Americanos. (OEA), Washington, DC.
- CARLQUIST, S. 1988. Comparative wood anatomy, systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledonous wood. Springer-Verlag, New York.
- CARSE, L. E., T. S. FREDERICKSEN, and J. C. LICONA. 2000. Liana-tree species associations in a Bolivian dry forest. *Tropical Ecology* 41(1): 1-10.
- CFV. 2007. Operaciones certificadas en Bolivia por buen manejo forestal. Consejo Boliviano para la Certificación Forestal Voluntaria Boletín Institucional: 11, 12.
- COBOS, D., and J. A. BONINSEGNA. 1983. Fluctuations of some glaciers in the Upper Atuel River basin, Mendoza, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 1: 61–82.

- COSTER, C. 1927. Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresbildung in den Tropen. *Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg* 37: 49-160.
- COSTER, C. 1928. Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresbildung in den Tropen. *Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg* 38: 1-144.
- DAUBER, E., T. S. FREDERICKSEN, and M. PEÑA. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294–304.
- DAUBER, E., J. TERÁN, and R. GUZMÁN. 1999. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1 1-10.
- DUNISCH, O., and L. GASPAROTTO. 2003. Formation of increment zones and intra-annual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* y *Cedrela Odorata* (Meliaceae) *IAWA* 23: 244-250.
- ECKSTEIN, D., J. ODGEN, G. C. JACOBY, and J. ASH. 1981. Age and growth rate determination in tropical trees: The application of dendrochronological methods. En: F.H. Bormann y G. Berlyn (eds.). *Age and growth rate of tropical trees; new directions for research* 83-106 Yale University, New Haven.
- FAO. 2007. Situación de los incendios forestales en Bolivia: análisis y recomendaciones para la estrategia de manejo del fuego. Departamento Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia: 20–30 p.
- FICHTLER, E., D. CLARK, and M. WORBES. 2003. Age and long-term growth of trees in an old-growth tropical rain forest, based on analyses of tree rings and C-14. *Biotropica* 35: 306-317.
- FRITTS, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London.
- GONZALES, M. 2005. Fire history as reference information in ecological restoration. *Dendrochronologia* 22: 149 - 154.
- GRAU, H. R. 2001. Regional-scale patterns of fire in relation to rainfall gradients in NW Argentina subtropical mountains. *Global Ecology and Biogeography* 10: 133-146.
- GRAU, H. R., and T. T. VEBLÉN. 2000. Rainfall variability, fire and vegetation dynamics in neotropical montane ecosystems of north-western Argentina. *Journal of Biogeography* 27: 1107-1121.
- HOLMES, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- IPCC. 2007. *Climatic Change 2007: The Scientific Basis*. Houghton, J.T. et al. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- ITTO. 2005. Revised ITTO criteria and indicators for the sustainable management of tropical forest including reporting format. International Tropical Timber Organization (ITTO). Yokohama, Japan: ITTO Policy Development Series No 15.
- JACOBY, G. C. 1989. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *IAWA* 10.
- KILLEEN, J. T., E. GARCIA, and G. S. BERCK. 1993. *Guía de arboles de Bolivia*. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. Quipus S.R.L., La Paz, Bolivia.
- KILLEEN, T. J., V. CALDERÓN, L. SORIA, B. QUESADA, M. STEININGER, G. HARPER, L. A. SOLORZANO, and C. J. TUCKER. 2007. Thirty years of Land-cover Change in Bolivia. *Ambio* 36(7): 600- 606.
- KILLEEN, T. J., B. T. LOUMAN, and T. GRIMWOOD. 1990. La ecología paisajista de la región de Concepción y Lomerío en la Provincia de Ñuflo de Chávez, Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 16: 1-45.
- KITZBERGER, T., D. F. STEINAKER, and T. T. VEBLÉN. 2000. Effects of Climatic Variability on Facilitation of Tree Establishment in Northern Patagonia. *Ecology* 81: 1914-1924.
- KITZBERGER, T., T. T. VEBLÉN, and R. VILLALBA. 1997. Climatic influences on fire regimes along a rain forest-to-xeric woodland gradient in northern Patagonia, Argentina. *Journal of Biogeography* 24: 35-47.
- LARA, A., and R. VILLALBA. 1993. A 3620 year temperature reconstruction from *Fitzroya cupressoides* tree ring in Southern South America. *Science* 260: 1104-1106.
- LÓPEZ, L. 2003. Estudio de anillos de crecimiento en once especies forestales de Santa Cruz–Bolivia. U. A. G. R. M., proyecto BOLFOR: 147.
- MDSMA. 1997a. Normas técnicas para la elaboración de instrumentos de manejo forestal (inventarios, planes de manejo, planes operativos, mapas) en propiedades privadas o concesiones con superficies iguales o menores a 200 hectáreas en zonas tropicales y subtropicales. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente: Resolución ministerial N° 132/197. La Paz, Bolivia.
- MDSMA. 1997b. Nueva Ley Forestal. Ley N° 1700 del 12 de julio de 1996. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente: La Paz, Bolivia.
- MOSTACEDO, B., Z. VILLEGAS, J. C. LICONA, A. ALARCÓN, D. VILLARROEL, M. PEÑA-CLAROS, and T. S. FREDERICKSEN. 2009. *Ecología y Silvicultura de los Principales Bosques Tropicales de Bolivia*. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia. 142.



- NAVARRO, G., and MALDONADO. 2004. Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes Acuáticos. Centro de Ecología Simón Patiño Santa Cruz, Bolivia: 3:101 - 155.
- PAZ-RIVERA, C., and F. E. PUTZ. 2009. Anthropogenic soils and tree distributions in a lowland forest in Bolivia. *Biotropica* doi: 10.1111/j.1744-7429.2009.00521.x.
- RESNIKOWSKI, H., and R. WACHHOLTZ. 2007. Análisis de la distribución y ocurrencia de focos de calor en Bolivia en los años 1998 - 2006: proyecto “combate a la deforestación e incendios del bosque boliviano”. Superintendencia Forestal / BOLFOR II / The Nature Conservancy / USAID. Santa Cruz, Bolivia.
- ROJAS, D., I. MARTÍNEZ, W. CORDERO, and F. CONTRERAS. 2003. Tasa de Deforestación de Bolivia, 1993-200. BOLFOR Santa Cruz, Bolivia.
- RONCHAIL, J. 1995. Variabilidad interanual de las precipitaciones en Bolivia. *Bul. Inst. Fr. Etudes Andines* 24: 369 - 378.
- ROZENDAAL, D. M. A. 2010. Looking backwards: using tree rings to evaluate long-term growth patterns of Bolivian forest trees. PROMAB Scientific Series 12. PROMAB, Riberalta, Bolivia.
- SCHÖNGART, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* 256: 46-58.
- SMARTWOOD. 2004a. Resumen Público de Certificación de INPA Parket LTDA (Propiedad Amazonia, Santa Rosita y San Alejandro). Consejo de Manejo Forestal (Forest Stewardship Council o FSC) y de SmartWood, New York, USA.
- SMARTWOOD. 2004b. Resumen Público de Certificación de INPA Parket LTDA. (Propiedad Amazonia, Santa Rosita y San Alejandro). New York: New York.
- STAHL, D. W., P. T. MUSHOVEB, M. K. CLEAVELANDA, F. ROIG, and G. A. HAYNES. 1999. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. *Forest Ecology and Management* 124: 217-229.
- STEININGER, M. K., C. J. TUCKER, P. ERSTS, T. J. KILLEEN, Z. VILLEGAS, and H. S.B. 2001. Clearance and fragmentation of tropical deciduous forest in the Tierras Bajas, Santa Cruz, Bolivia. *Conservation Biology* 15 (4): 127-134.
- THERRELL, M. D., D. W. STAHL, M. A. MUKELABAI, and H. H. SHUGART. 2007. Age, and radial growth dynamics of *Pterocarpus angolensis* in southern Africa. *Forest Ecology and Management* 244: 24-31.
- VEBLEN, T. T., T. KITZBERGER, R. VILLALBA, and J. DONNEGAN. 1999. Fire history in northern Patagonia: the roles of humans and climatic variations. *Ecological Monographs* 69: 47-67.
- VILLALBA, R. 2000. Metodos en Dendrogeomorfología y su uso potencial en América del Sur. En: F. Roig (eds.) *Dendrocronología en América Latina*. EDIUNC, Mendoza: 103-134.
- VILLALBA, R., J. A. BONINSEGNA, and A. RIPALTA. 1987. Climate, site conditions, and tree growth in subtropical northwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1527-1539.
- VILLALBA, R., E. R. COOK, G. C. JACOBY, R. D. D'ARRIGO, T. T. VEBLEN, and P. D. JONES. 1998a. Tree-ring based reconstructions of northern Patagonia precipitation since AD 1600. *Holocene* 8: 659-674.
- VILLALBA, R., H. R. GRAU, J. A. BONINSEGNA, G. C. JACOBY, and A. RIPALTA. 1998b. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America. *International Journal of Climatology* 18: 1463-1478.
- VILLALBA, R., R. L. HOLMES, and J. A. BONINSEGNA. 1992. Spatial patterns of climate and tree growth variations in subtropical northwestern Argentina. *Journal of Biogeography* 19: 631-649.
- VILLALBA, R., A. LARA, J. A. BONINSEGNA, M. MASIOKAS, S. DELGADO, J. C. ARAVENA, F. A. ROIG, A. SCHMELTER, A. WOLOUDARSKY, and A. RIPALTA. 2003. Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change* 59: 177-232.
- WORBES, M. 1992. Occurrence of seasonal climate and tree-ring research in the tropics. *Lund Qua Report* 34: 338-342.
- WORBES, M., and W. JUNK. 1999. How old are tropical trees? The persistence of a myth. *IAWA* 20: 255-260.

## CAPÍTULO II

---

### ANILLOS DE CRECIMIENTO EN ÁRBOLES TROPICALES DEL CERRADO BOLIVIANO: CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y DENDROCRONOLÓGICAS



#### Tabla de contenidos

---

1. Introducción.....	25
2. Antecedentes.....	28
3. Materiales y métodos.....	30
3.1. Muestreo.....	30
3.2. Características generales de las especies en estudio.....	31
3.3. Procesamiento y análisis de las muestras.....	35
4. Resultados.....	37
4.1. Descripciones del leño de las especies en estudio con énfasis en los anillos de crecimiento.....	37
4.2. Características dendrocronológicas de las especies en estudio.....	49
5. Discusión y conclusiones.....	61
5.1. Anillos de crecimiento en árboles de la Chiquitania.....	61
5.2. Características dendrocronológicas de las especies en estudio.....	64
6. Referencias.....	65

## Resumen

El presente capítulo aborda temáticas relacionadas con la determinación de los anillos de crecimiento en especies arbóreas clave desde el punto de vista forestal. Se describen los patrones anatómicos que definen las bandas anuales y la presencia en el leño de otras características que limitan la datación correcta de las bandas anuales de crecimiento, así como, los métodos para la determinación correcta de las bandas anuales y los probables errores en el fechado de las muestras. Mediante estas determinaciones se logra identificar patrones comunes de crecimiento entre radios de un mismo árbol y entre árboles creciendo en un mismo sitio. Estos patrones no fueron uniformes para todas las especies estudiadas, la técnica empleada fue efectiva para determinar la edad de los árboles y sus tasas de crecimiento, abriendo una perspectiva para el uso ampliado de esta técnica a otras especies de bosques tropicales o subtropicales. Desde el punto de vista estrictamente forestal, la información generada aporta más elementos de juicio que permitan definir pautas de manejo basadas en criterios objetivos sobre el crecimiento de cada especie.

### 1. Introducción

Un anillo de crecimiento es una capa de células del xilema producidas durante un año, y que en sección transversal aparece como una banda (Kaennel & Schweingruber 1995). Estas bandas están compuestas por diferentes tipos de células o elementos leñosos, cada uno de los cuales posee características particulares (Worbes & Junk 1999). Las descripciones microscópicas y macroscópicas del arreglo de los elementos leñosos de la madera son muy valiosas para definir claramente las bandas anuales de crecimiento (Jacoby 1989). Los anillos de crecimiento están bien demarcados en casi todas las coníferas y en la mayoría de las latifoliadas que crecen en los bosques templados. En las coníferas, los anillos de crecimiento están muy bien definidos permitiendo a simple vista la observación del leño tardío y temprano. Los límites entre anillos están definidos por un estrechamiento de traqueidas con paredes gruesas tangencialmente aplastadas, ubicadas al final de cada período de crecimiento que contrastan con los elementos de paredes más delgadas y mayores dimensiones al comienzo del nuevo anillo de crecimiento (Fritts *et al.* 1999). En especies latifoliadas de zonas templadas y frías, las bandas de crecimiento están definidas por la presencia de vasos de mayor tamaño en la madera temprana, y de menor tamaño o casi ausentes en la madera tardía. En muchas de estas especies también se observa un agrupamiento de fibras de lumen reducido

y paredes engrosadas al final del anillo de crecimiento. Estas fibras le confieren a la madera un color oscuro que normalmente contrasta con los tejidos formados al inicio del leño temprano incluyendo vasos de mayor tamaño o mayor abundancia de tejido parenquimático. La delimitación de los anillos de crecimiento en las maderas tropicales puede deberse al arreglo de los vasos, la presencia de bandas más oscuras de fibras, y en particular, a la presencia de tejido parenquimático en arreglos muy diversos (Carlquist 1988).

A pesar de que las regiones tropicales de América del Sur contribuyen en gran medida al mercado mundial de maderas de bosques nativos (ITTO 2007,FAO 2009), se cuenta en la actualidad con muy poca información sobre la anatomía de estas maderas y su aporte en la identificación de los anillos de crecimiento (Worbes & Junk 1999,Worbes 2002,López 2003). Para la Subregión Andina Tropical de América del Sur existe el Manual de Identificación de Especies Forestales (ITTO 1996) que provee información valiosa sobre el color, la dureza y los usos más comunes de cada especie. En la práctica, sin embargo, no hay información sobre la visibilidad de los anillos de crecimiento de las especies allí descritas. Para las regiones tropicales amazónicas de Bolivia y Perú, la documentación sobre la anatomía de sus maderas es prácticamente inexistente (Roig 2000).

La presencia de anillos anuales de crecimiento es una condición indispensable para la aplicación de técnicas dendrocronológicas (Fritts 1976,Schweingruber 1988). Con excepción de algunas especies tropicales que crecen en regiones con marcada estacionalidad climática, las especies de los bosques lluviosos tropicales no poseen una estructura anatómica en su leño que permita la fácil y rápida determinación de los incrementos radiales anuales (Fahn A. *et al.* 1891,Bormann & Berlyn 1981). En la actualidad, algunos autores todavía sostienen que los árboles tropicales no demarcan anillos de crecimiento anuales (Lieberman & Lieberman 1985,Whitmore 1998) mientras que otros enfatizan los problemas que se presentan en el reconocimiento de los mismos (Bormann & Berlyn 1981,Martinez-Ramos & Alvarez-Buylla 1998,Chambers & Trumore 1999,López 2003,Laurance *et al.* 2004). Entre estos problemas está la presencia de lentes de crecimiento que resultan de la actividad vascular solamente en un sector de la circunferencia del árbol durante parte o todo el ciclo biológico anual (Villalba 1987). Estos estímulos de crecimiento localizados en ciertos sectores del fuste hacen que un anillo aparezca solo en un sector y esté ausente en otros (López 2003). Otros autores mencionan la presencia de falsos anillos como un problema adicional para el fechado preciso

de los árboles tropicales. Los falsos anillos son bandas intermedias, parcialmente discontinuas o escasamente visibles en algunos sectores del fuste causadas por eventos climáticos desfavorables dentro del ciclo de crecimiento (sequías o inundaciones) o procesos biológicos no siempre periódicos como floraciones o fructificaciones masivas (Villalba 1987, Worbes & Junk 1999, Borchert & Rivera 2001).

Sin embargo, numerosos estudios han reportado la ocurrencia de anillos de crecimiento en especies tropicales y la mayoría de ellos han logrado precisar en forma directa o indirecta el carácter anual de las bandas de crecimiento. Por ejemplo, Roig (2000), a través de cortes microscópicos, reconoció la presencia de anillos de crecimiento en especies forestales bolivianas de Santa Cruz. Sólo cuatro de las 17 especies provenientes de los bosques de la Amazonía Boliviana presentaron en su leño un patrón anatómico que permitió precisar la presencia de anillos de crecimiento. Por el contrario, el 60% de las ocho especies provenientes del Cerrado Boliviano tuvieron anillos anatómicamente distinguibles (Roig 2000). López (2003) encontró anillos de crecimiento delimitados por bandas de tejido parenquimático terminal en 11 especies forestales de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. No obstante, el fechado resultó dificultoso por la presencia de lentes y falsos anillos presentes en el leño de algunas de las especies estudiadas.

A diferencia de las especies de zonas templadas, la formación de anillos en especie tropicales puede responder, además de la estacionalidad climática, a otros forzantes de diversa naturaleza. Así, por ejemplo, la formación de los anillos de crecimiento en especies tropicales ha sido asociado a la ocurrencia de periodos anuales de inundación (Schöngart *et al.* 2002, Dezzeo *et al.* 2003), el ritmo estacional en la duración del día o fotoperiodo (Borchert & Rivera 2001), la variación estacional en la intensidad de lluvias (Borchert 1999, Worbes & Junk 1999), así como el efecto de ritmos internos de crecimiento no siempre identificados ((Alvim & Alvim 1978). En la mayoría de las áreas boscosas no sujetas a inundaciones, la formación de anillos de crecimiento es inducida probablemente por la ocurrencia de una estación seca anual de varios meses de duración (Coster 1927, Worbes & Junk 1999, Dunisch & Gasparotto 2003). Durante la estación seca, debido al déficit de agua, ciertas especies de árboles muestran con frecuencia un crecimiento radial reducido o un periodo de dormancia del tejido cambial, lo que resulta en la demarcación de un tejido distintivo visible como un anillo de crecimiento (Worbes & Junk 1999). Muchas de las especies que forman anillos en las

regiones tropicales generalmente son deciduas o pierden sus hojas durante el período seco (Borchert 1999, Worbes & Junk 1999).

El presente capítulo tiene por objetivos: 1) describir anatómica y dendrocronológicamente las especies de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano detalladas en el Capítulo 1, 2) establecer los patrones anatómicos que facilitan la visibilidad de los anillos de crecimiento, 3) determinar los incrementos anuales en el crecimiento en aquellas especies en donde fue posible definir los anillos con seguridad, y 4) estimar los ritmos de crecimiento en aquellas especies donde la determinación de los anillos no es totalmente precisa.

## 2. Antecedentes

Estudios dendrocronológicos recientemente desarrollados en las regiones tropicales y subtropicales de América del Sur han sido empleados para determinar la edad de los árboles (Worbes & Junk 1999, Brien & Zuidema 2006a, Brien & Zuidema 2006b), conocer las tasas de crecimiento (Clark & Clark 1992, López 2003, Brien & Zuidema 2006a, Schöngart *et al.* 2007, Schöngart 2008), evaluar los planes de manejo forestal y parámetros tales como los diámetros mínimos de corte (Brien & Zuidema 2006a, Schöngart 2008, da Fonseca *et al.* 2009, López *et al.* 2009) o volúmenes de madera extraíbles en una segunda cosecha (Brien & Zuidema 2007). A su vez, estudios dendrocronológicos en las regiones tropicales de América del Sur han permitido determinar la relación entre el crecimiento de los árboles y el clima (Worbes 1992, Worbes & Junk 1999, Dunisch & Gasparotto 2003, Brien & Zuidema 2005, Brien & Zuidema 2006a, Schöngart *et al.* 2007, López & Villalba 2010).

En la Amazonía Central, el conteo de los anillos de crecimiento de los árboles permitió determinar que los mismos pueden alcanzar hasta 400 años (Worbes & Junk 1999). Por su parte, en los bosques Amazónicos de Bolivia, las edades máximas reportadas para estas especies oscilan entre 123 años para *Cedrelinga catenaeformis* y 308 años para *Cedrela odorata* (Brien & Zuidema 2005, Brien & Zuidema 2006a, Brien & Zuidema 2006b). En los bosques inundables de la Amazonía Brasileña (Varzea), Schöngart (2008) empleó exitosamente los anillos de crecimiento para determinar los Diámetros Mínimos de Corta (DMC) en especies con diferentes densidades de madera. En especies con baja densidad para alcanzar un DMC de 50 cm, necesitaron un promedio de 15–67 años. En cambio, en especies

con alta densidad en la madera se ha requerido un tiempo promedio de 106–151 años (Schöngart 2008). *Tabebuia barbata* en la misma región llegó al DMC de 50 cm en un tiempo promedio de 117 años. Valores similares en esta región fueron encontrados en *Vateirea guianensis* con 70 y 162 años para alcanzar el DMC de 50 cm (da Fonseca *et al.* 2009). Mediante la aplicación de los anillos de crecimiento se determinó que algunas especies que crecen en las regiones tropicales tienen una tasa de crecimiento baja, menor de la propuesta (Clark & Clark 1992). En el caso de los bosques de la Amazonía Boliviana, el tiempo requerido para llegar al DMC (>50 cm) también fue largo. Las edades promedio al DMC para cinco especies forestales en esta región variaron entre 61 y 179 años (Brienen & Zuidema 2006a). Así mismo, para seis especies tropicales de la Amazonía Boliviana, las tasas de crecimiento tuvieron una variación anual de 4,8–1,8 cm/año en *Tachigali vasquezii* y *Amburana cearensis*, siendo las especies con mayor y menor crecimiento respectivamente (Brienen & Zuidema 2006a, Brienen & Zuidema 2006b). Además, cuatro especies de la región Amazónica Boliviana, han sido recientemente empleadas para construir cronologías y comparar sus índices de crecimiento con el clima regional. La variación interanual en la precipitación fue el factor más fuertemente correlacionado con el crecimiento (Brienen 2005), mostrando diferentes patrones de respuestas a esta variable climática.

En la Provincia de Guarayos, Departamento de Santa Cruz, Bolivia, López (2003) determinó a través de la determinación de los anillos que el crecimiento medio de 11 especies forestales sería más lento que el supuesto en planes de ordenación. Por su parte, *Centrolobium microchaete*, en dos distritos (Guarayos y Chiquitos) de la provincia Biogeográfica del Cerrado Boliviano, necesitó un tiempo promedio de 120 y 140 años para llegar al DMC (>40 y 50cm) respectivamente (López *et al.* 2009).

Recientemente en dos localidades de la Provincia Biogeográfica del Cerrado Boliviano, se determinó que el crecimiento de *C. microchaete* está fuertemente influenciado por las condiciones climáticas durante el verano (López & Villalba 2010). Las lluvias estivales favorecieron el crecimiento radial, en tanto que las altas temperaturas del verano, actuaron reduciendo el agua disponible para el crecimiento, estando inversamente correlacionadas con el crecimiento (López & Villalba 2010).

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1. Muestreo

La toma de muestras se realizó en áreas con manejo forestal descritas en el Capítulo 1 (listados en la Tabla 1.2). Se colectaron secciones transversales del fuste de los árboles de 11 especies forestales en áreas de aprovechamiento forestal. El número de muestras por especie fue variado de acuerdo a la intensidad de aprovechamiento y se obtuvieron mediante el uso de motosierra (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Identificación taxonómica de las especies forestales estudiadas. Nombres científicos y locales basado en identificaciones de campo (Cronquist 1988, Justiniano & Fredericksen 1998a, Justiniano & Fredericksen 1998b, 1999, Jardim *et al.* 2003, Mostacedo *et al.* 2003). Todas las especies proceden de los distritos biogeográficos Chiquitano y de Guarayos pertenecientes al Cerrado Boliviano.

Nombre Científico	Nombre común	Familia	N.
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A. S. Smth	roble	Fabaceae (Leg.)	18
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell. Conc.) Benth	curupaú	Mimosaceae (Leg.)	31
<i>Cariniana ianeirensis</i> R. Knuth	yesquero	Lecythidaceae	9
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	Meliaceae	20
<i>Centrolobium microchaete</i> (C. Martius ex Benth.) Lima ex G. P. Lewis	tarara amarilla	Fabaceae (Leg.)	171
<i>Copaifera chodatiana</i> Hassl.	sirarí	Caesalpiniaceae (Leg.)	12
<i>Ficus boliviana</i> C.C.Berg	bibosí	Moraceae	9
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	paquíó	Caesalpiniaceae (Leg.)	14
<i>Machaerium scleroxylon</i> Tul	morado	Fabaceae (Leg.)	9
<i>Platimiscium ulei</i> Harms	tarara colorada	Fabaceae (Leg.)	20
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau	tajibo	Bignoniaceae	12

Estudios preliminares en las regiones tropicales secas o semi-secas de América del Sur indican la dificultad de obtener muestras leñosas empleando herramientas dendrocronológicas tradicionales (López 2003). Dada la dureza que caracteriza a la mayoría de las maderas de esta región, no pueden emplearse los barrenos de incremento tradicionales, los que han sido diseñados para maderas de menor densidad. Asimismo, la mayor dificultad en la tarea de



delimitar con precisión los anillos de crecimiento en estas especies, obliga a trabajar con secciones transversales del fuste de los árboles, en lugar de los tradicionales tarugos de 5 mm de espesor. Contar con secciones transversales o cuñas de los árboles permite tener una mejor visión del plan leñoso y aumenta la precisión en la determinación y medición del espesor de los anillos de crecimiento.

La mayoría de las muestras fueron tomadas a alturas en el fuste que oscilaron entre 1,5 a 2 m, dependiendo del alcance de los contrafuertes en el fuste y de los procesos de volteo y saneado de los troncos. El corte durante el apeo de los árboles fue generalmente realizado por encima de los contrafuertes, en la parte más circular del fuste. Los contrafuertes son pliegues salientes de madera que aparecen en el ángulo que forman una raíz lateral y la base de un árbol para dar estabilidad lateral al tronco y son comunes en casi todos los árboles del distrito biogeográfico de Guarayos. Por el contrario, los contrafuertes no son frecuentes en los árboles del distrito biogeográfico Chiquitano, pero dado el carácter más seco de estos bosques, la mayoría de los árboles presentan daños en el fuste cercanos a la superficie del suelo causado principalmente por fuegos o insectos barrenadores.

### 3.2. Características generales de las especies en estudio

A continuación se realiza una breve descripción general de las principales características que poseen las 11 especies en estudio, así como su distribución en Bolivia y regiones cercanas.

#### ***Amburana cearensis*** (roble, soriocó)

Familia Fabaceae (Leguminosae). Generalmente son árboles de hasta 40 m. de altura, con fustes cilíndricos a cónicos. La corteza externa es lisa con exfoliaciones papiráceas. En Bolivia se encuentra distribuida en la región Amazónica y áreas de transición hacia formaciones más secas, específicamente en los Departamentos de Santa Cruz, Pando, Beni y La Paz. Este género tiene distribución neotropical y algunas de sus especies se encuentran distribuidas al suroeste del Perú, hasta el noroeste de Brasil y al norte de la Argentina (Killeen *et al.* 1993). En Bolivia tiene una amplia distribución altitudinal encontrándose desde los 200 hasta los 1,200 m.s.n.m. (Jardim *et al.* 2003). Debido a los diseños del vetado y la textura granular que presenta esta especie en su madera, la misma es utilizada en láminas para decoraciones, muebles, cajas, revestimientos y múltiples usos artesanales.

***Anadenanthera colubrina*** (curupaú, cebil, ibira–pitá, curuaú barcino)

Familia, Mimosaceae (Leguminosae). Los individuos de esta especie pueden alcanzar hasta 30 m. de altura, con fustes cilíndricos y casi siempre rectos. La corteza presenta ornamentaciones leñosas que cubren la base del fuste. En Bolivia se encuentra distribuido en los bosques Boliviano–Tucumano, en la región Chaqueña y gran parte de la región Chiquitana (Killeen *et al.* 1993, Jardim *et al.* 2003). Cuatro especies de este género se distribuyen en regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica que van desde el sureste del Perú hasta el noroeste de Brasil, el norte de la Argentina y el noroeste del Paraguay, (Killeen *et al.* 1993, ITTO 1996). En Bolivia tiene una amplia distribución altitudinal, encontrándose desde los 100 m hasta los 2,200 m (Mostacedo *et al.* 2003). Dada la alta dureza del leño, esta especie tiene múltiples usos incluyendo vigas, parquet, postes, carbón, leña y carrocerías.

***Cariniana ianeirensis*** (yesquero, yesquero blanco)

Familia Lecythidaceae. Árboles semidecíduos de gran porte que alcanzan alturas de hasta 40 m y diámetros de hasta 180 cm. Tiene fuste cilíndrico recto y liso desde la base, corteza interna fibrosa y fruto pixidio. Esta especie es endémica del Departamento de Santa Cruz, en el distrito biogeográfico de Guarayos y en la parte norte del distrito biogeográfico Chiquitano, más abundante en los bosques de transición entre el Chiquitano y los bosques húmedos de llanura y del escudo precámbrico (Justiniano & Fredericksen 1999). Algunas especies de este género se encuentran en los bosques tropicales de Sudamérica, distribuidos en el centro y sur de Brasil, sudeste del Perú y noroeste de Paraguay ((Killeen *et al.* 1993, ITTO 1996). Dado la menor densidad de la madera, los usos más importantes son cajonería, fósforos, parquet y laminados.

***Cedrela fissilis*** (cedro)

Familia Meliaceae. Es una especie decidua, demandante de luz. Los individuos de esta especie son árboles de hasta 40 m. de altura, con fustes cilíndricos, corteza externa corchosa y la interna de color rosada con olor característico. En Bolivia tiene una amplia distribución de norte a sur, mayormente en la región Amazónica y áreas de transición, siendo frecuente en los bosques Chiquitanos (Mostacedo *et al.* 2003). Géneros de esta familia se encuentran distribuidos desde México hasta las tierras bajas del centro de Sudamérica y norte Argentino. En Ecuador desde el nivel del mar hasta 200 m. (ITTO 1996, Mostacedo *et al.* 2003, Grau *et al.*

2006). La madera de esta especie tiene una alta demanda para diversos usos como muebles, parquet, puertas, decoraciones y laminados.

***Centrolobium microchaete*** (tarara amarilla, tarara, madera canaria)

Familia Fabaceae, Leguminosae (Cronquist 1988). Los individuos de esta especie son árboles de 20 a 30 metros de altura, fuste recto y cilíndrico (Mostacedo *et al.* 2003). La corteza interna tiene un color amarillento con savia rojiza, flores amarillas dispuestas en panículas terminales y el fruto es una sámara grande con cabeza espinescente. Se encuentra ampliamente distribuida en Bolivia, particularmente en los distritos biogeográficos de Guarayos y Chiquitos, a altitudes entre los 400 y 600 m (Justiniano & Fredericksen 1998b). Este género es completamente neotropical distribuida desde Panamá hasta Bolivia y Brasil (Killeen *et al.* 1993, Justiniano & Fredericksen 1998b). La madera presenta un vetado amarillo-rosado. Es de baja densidad y ampliamente empleada para la construcción de muebles, pisos, puertas, y decoración de interiores.

***Copaifera chodatiana*** (sirarí)

Familia Caesalpinaceae (Leguminosae). Generalmente árboles de hasta 30 m. de alto y alcanza diámetros superiores a los 100 cm. Tiene fustes cilíndricos, pero muchas veces cónico con aletones medianos. Crece sobre suelos y topografías variables, es semi-decidua parcialmente tolerante a la sombra y florece en la estación lluviosa entre Noviembre a Enero. Las semillas, dispersadas por aves y animales menores, son de color llamativo (Fredericksen & Justiniano 1998). Esta especie se la encuentra entre los 200 a 500 m de altura en los distritos biogeográfico de Guarayos y Chiquitos en Bolivia (Fredericksen & Justiniano 1998). Este género también se encuentra distribuido en las regiones tropicales y subtropicales, particularmente en la Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Paraguay y Perú (Killeen *et al.* 1993, Fredericksen & Justiniano 1998). La madera de esta especie, es usada para construir vigas, marcos, pisos, carrocerías y postes.

***Ficus boliviana*** (bibosí, bibosí colorado)

Familia Moraceae. Árboles grandes de hasta 40 m. de altura y 220 cm de diámetro. Presenta fustes cilíndricos con aletones tabulares grandes y extensos. La corteza externa es gris con abundantes lenticelas y la corteza interna de color crema con abundante látex blanco. En cuanto a la ecología de la especie podemos decir que se trata de una especie dominante, siempre verde, parcialmente tolerante a la sombra. Florece en cualquier época del año. En

nuestras zonas de estudio es más abundantemente en el distrito biogeográfico de Guarayos y áreas de transición (Mostacedo *et al.* 2003). Crece en condiciones variables de topografía, asociadas a las formaciones marginales del escudo precámbrico, entre alturas de 250 a 850 m. El género de esta familia tiene una amplia distribución particularmente en las regiones húmedas de los trópicos y sud trópicos de América (ITTO 1996, Mostacedo *et al.* 2003). La madera de *Ficus boliviana* es destinada a la fabricación de cajones, láminas y revestimientos.

***Hymenaea courbaril*** (copal, paquí, algarrobo)

Familia Caesalpiniaceae (Leguminosae). Árboles de gran porte, con fuste cilíndrico limpio, recto y sin aletones. Corteza externa de color ceniza y exudaciones rojizas en la corteza interna. Esta especie crece entre los 200 y 600 m. de elevación. En cuanto a la ecología de la especie, se la identifica como una especie semidecídua, parcialmente tolerante a la sombra, común en casi todos los bosques tropicales desde la Amazonía hasta el bosque seco Chaqueño de Bolivia (Mostacedo *et al.* 2003). A su vez, este género con aproximadamente 20 especies se distribuye desde México hasta Paraguay. En ambos sitios prefiere suelos bien drenados (Killeen *et al.* 1993, ITTO 1996, Mostacedo *et al.* 2003). La madera es utilizada para muebles, parquet, paneles decorativos y obras de ebanistería.

***Machaerium scleroxylon*** (morado)

Familia Fabaceae (Leguminosae). Árbol espinoso de tamaño mediano que llega hasta los 15 m. de altura. Fuste cilíndrico, acanalado en la base, presenta escamas que se exfolian en placas irregulares (Justiniano & Fredericksen 1998a). Esta especie es semi-decídua, parcialmente tolerante a la sombra, muy frecuentemente en el bosque semidecídulos secos de la Chiquitania Boliviana. Es más abundante en la cuenca del Paraná. Está presente en Paraguay, noroeste de Argentina y Brasil (Killeen *et al.* 1993, ITTO 1996, Justiniano & Fredericksen 1998a). La madera es usada para realizar trabajos de artesanías, pisos, muebles, parquet, revestimientos y madera en láminas.

***Platimiscium ulei*** (tarara colorada, tarara negra, tarara barcina)

Familia Fabaceae (Leguminosae). Los individuos de esta especie alcanzan hasta 25 metros de altura, con fustes cilíndricos rectos y sin aletones. En Bolivia, se encuentra distribuida en los Departamentos de Santa Cruz y Beni, crece en suelos bien drenados, entre 250 y 550 m de altura (Mostacedo *et al.* 2003). Algunas especies de este género, se encuentran en Centro y

Sudamérica (Killeen *et al.* 1993, Mostacedo *et al.* 2003). Esta especie tiene diversos usos, empleándose para fabricar muebles rústicos, vigas para construcción, pisos y artesanías dadas la dureza de su madera.

***Zeyheria tuberculosa*** (cabeza de mono, jopo de mono, tajibo cabeza de mono)

Familia Bignoniaceae. Es un árbol de hasta 20 m de altura, fuste recto y cilíndrico con aletones poco desarrollados. Es una especie decidua, heliófita, característica de los bosques del Distrito Biogeográfico Chiquitano. En Bolivia se encuentra en manchones o grupos cerca de la base de las colinas entre los 300 y 800 m de altura (Mostacedo *et al.* 2003). Esta especie también se encuentra distribuida al noroeste de Brasil y norte de Paraguay (Jardim *et al.* 2003, Mostacedo *et al.* 2003). Esta especie tiene diferentes usos, como árbol ornamental y para la producción de postes, vigas, artesanías, pisos y parquet.

### 3.3. Procesamiento y análisis de las muestras

Las muestras fueron pulidas y fechadas visualmente siguiendo los criterios ya establecidos (Stokes & Smiley 1968). Una vez secas a temperatura ambiente, se procedió a lijarlas con granulometría ascendente de 80 a 1,200, obteniéndose superficies lisas y sin imperfecciones para su correcta visualización bajo lupa binocular (50 x).

Se describieron macroscópicamente las características más prominentes del leño, observables a simple vista o con ayuda de una lupa, así como la distribución, el tamaño y tipo de elemento del leño que facilitan la delimitación de los anillos de crecimiento para cada una de las especies en estudio. Una vez definido el patrón anatómico que delimita a los anillos de crecimiento de las especies estudiadas, se procedió al fechado y medición del espesor de los anillos anuales de crecimiento.

La base del fechado estuvo basada en la correcta visualización del patrón anatómico que delimita a los anillos de crecimiento. Este patrón fue visualmente comparado entre los distintos radios de un mismo árbol y entre árboles de una misma especie para cada uno de los sitios muestreados. Los anillos anuales fueron asignados al año de comienzo de la formación del leño siguiendo la convención para el hemisferio sur (Schulman 1956).

Se fecharon dos o más radios opuestos en la sección transversal de cada uno de los árboles muestreados. Se procedió a contar, muy prolijamente, el número de anillos de crecimiento en

radios diferentes de una misma sección transversal. Cuando el número fue igual en ambos radios, asumimos que el fechado era correcto y que no existían errores en el fechado. En aquellas muestras donde el número de anillos no coincidió entre radios de un mismo ejemplar, las diferencias entre radios de una misma sección fueron promediadas entre todas las secciones disponibles para esa especie y dicho valor se consideró como una estimación del posible error en el fechado. Así, por ejemplo se determinó un error de hasta dos años en el fechado de individuos de *Amburana cearensis* de aproximadamente 100 años de edad. Este valor resultó de promediar las diferencias entre radios existentes en todas las secciones analizadas de esta especie. En base a la edad media de las secciones estudiadas, se escalo el error observado a árboles de 100 años de edad. Cuanto mayor es este error, mayor es la diferencia que se obtuvo entre radios de un mismo ejemplar para una especie. Este valor es claramente consistente con el número de falsos anillos y/o lentes presentes en cada sección. O sea que el error, dado por la diferencia media entre radios de todas las secciones transversales de una especie, está relacionado con el número de irregularidades presentes en el leño de esa especie. La presencia de lentes de crecimiento y falsos anillos se discute para cada una de las especies estudiadas. Una vez determinada la edad de los árboles en cada sitio se procedió a medir el espesor de los anillos de crecimiento. Los anchos de anillos fueron medidos en una tableta Velmex UniSlide conectada a un contador digital Metronics Quick–Chek QC–10V con una precisión de 0,001 mm. Las muestras fueron finalmente depositadas en el repositorio del Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) del CCT, CONICET–Mendoza. La calidad del fechado visual (presencia de anillos falsos y/o anillos ausentes), en aquellos árboles que presentaron un patrón similar en el ancho de sus anillos, fue verificado mediante el programa COFECHA (Holmes 1983). Este software remueve la baja frecuencia de las series y maximiza la alta frecuencia, realizando la comparación entre las curvas de anchos de anchos de anillos con ventanas de años superpuestas. De esta manera, cuando se observa baja correlación en períodos de años de una serie en relación a una serie maestra (promedio del conjunto de muestras generado sin la serie en comparación), se infieren problemas de fechado debido a la presencia de anillos falsos, anillos ausentes o ausencia del patrón de anillos esperable en esa porción de tiempo en función del promedio de las otras series. El programa también tiene la capacidad de establecer la cantidad de años que debe desplazarse una ventana

para su mejor correlación con la cronología maestra. Empleando esta función, las series con problemas de correlación nuevamente fueron controladas en estas porciones de la muestra, hasta establecer, si el efecto es por la presencia de las lentes de crecimiento o simplemente por un error asociado a la datación.

En aquellas especies que presentaron un patrón común en el ancho de sus anillos (cofechado), se calculó el incremento medio y el estandarizado en índices de crecimiento mediante el empleo del programa ARSTAN 4.0 (Cook & Holmes 1999). Las mediciones de anchos de anillos fueron estandarizadas mediante el empleo de curvas exponenciales negativas.

En especies donde se detectó la presencia de lentes y falsos anillos, dos o más radios fueron medidos, promediados y a partir de estos valores se derivaron las tasas de crecimiento por árbol.

## 4. Resultados

### 4.1. Descripciones del leño de las especies en estudio con énfasis en los anillos de crecimiento

#### *Amburana cearensis* (roble, soriocó)

Esta especie presenta anillos de crecimiento visibles a simple vista, mejor definidos en la etapa juvenil de los árboles. Estas bandas anuales están delimitadas por una mayor proporción de tejido fibroso con lúmenes pequeños y paredes celulares engrosadas al final de cada período de crecimiento. Este arreglo determina un contraste entre el leño tardío más oscuro y el leño temprano del anillo siguiente que presenta una apariencia más clara debido al mayor porcentaje de vasos y en particular de tejido parenquimático paratraqueal confluyente y aliforme (Fig. 2.1).

No se observaron falsos anillos ni lentes de crecimiento. Sin embargo, a medida que los árboles crecieron en diámetro, la lectura de los anillos de crecimiento se volvió más dificultosa. En árboles de grandes dimensiones, los anillos más externos fueron más delgados o angostos, observándose en muchos casos paquetes de anillos, donde el tejido parenquimático se expande sobre todo el anillo de crecimiento y desaparecen parcialmente las bandas oscuras del tejido fibroso que delimitan los anillos contiguos.

Presenta leño de porosidad difusa; poros medianos y rodeados de una corona de tejido flojo; generalmente solitarios y vacíos. Los vasos son solitarios o múltiples hasta en grupos de tres, con diámetros medianos a grandes, de distribución uniforme, en algunos casos formando hileras tangenciales en el leño y no contrastan en diámetro con respecto en ambos leños tardío y temprano (Fig. 2.1). Los radios leñosos son estrechos, más claros que el resto del tejido y de trayecto rectilíneo.

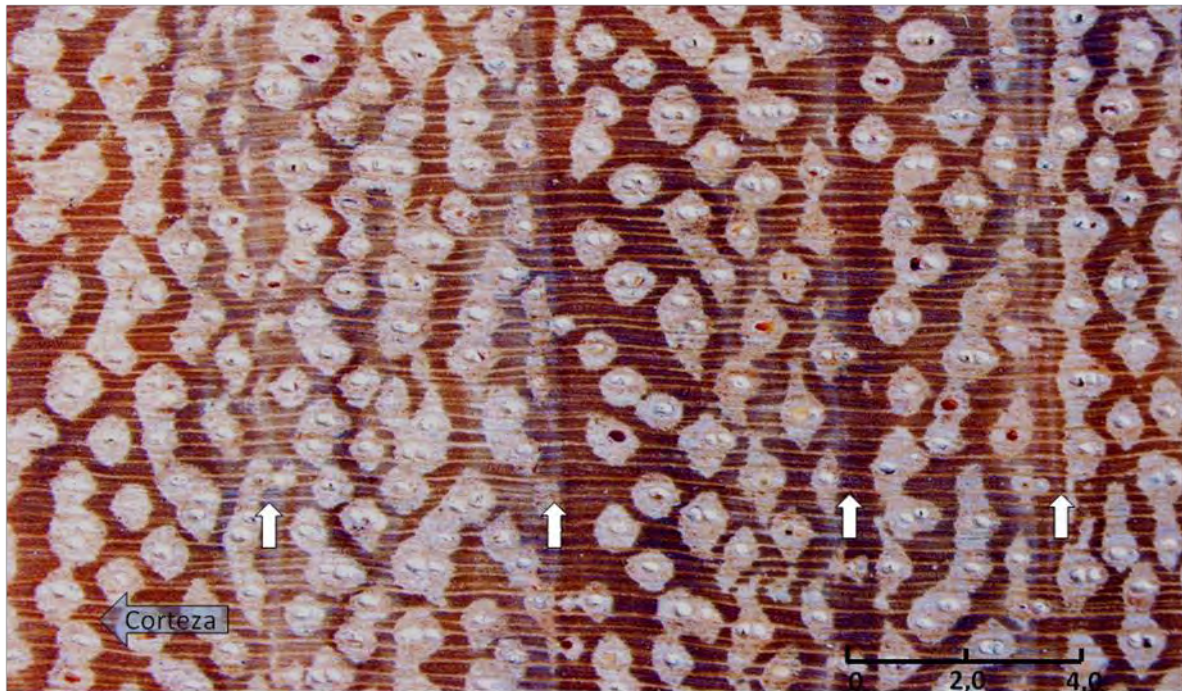


Figura 2.1. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Amburana cearensis*, (roble o roble criollo) mostrando el arreglo anatómico que determina la visibilidad de los anillos de crecimiento. Las flechas indican los límites de los anillos de crecimiento y la escala señala el crecimiento radial en mm.

### *Anadenanthera colubrina* (curupaú, cebil, ibira-pitá, curuaú barcino)

Los anillos de crecimiento en *A. colubrina* son visibles después del óptimo pulido del leño con lijas progresivamente más finas. Los anillos están delimitados por una banda fina de parénquima marginal, la cual se observa como una línea delgada pero continua de color más claro (Fig. 2.2). En general los anillos de crecimiento son visibles sin dificultad en árboles jóvenes. A medida que los árboles aumentan en edad y diámetro, la lectura de las bandas se torna más difícil. La abundante presencia de vasos en el leño hace que en períodos de crecimiento radial reducido, la continuidad y visibilidad de las bandas finas del tejido



parenquimático sea dificultosa. Dada la presencia de bandas de color negro en la madera, no se observan claras diferencias entre el leño temprano y tardío.

Es importante mencionar que en esta especie no se encontraron lentes ni falsos anillos de crecimiento. Aún cuando estudios adicionales serían necesarios para confirmar nuestras observaciones, las bandas de tejido parenquimático continuas presentes de parénquima marginal parecerían responder a ciclos anuales de crecimiento. A simple vista se observan bandas oscuras presentes en el leño de esta especie, en muchos casos ubicándose secuencialmente en cada anillo, a las cuales muchos autores erróneamente han descrito como los límites entre anillos de crecimiento (ITTO 1996). El tamaño diamétrico de los poros no es contrastante entre el leño temprano y el tardío.

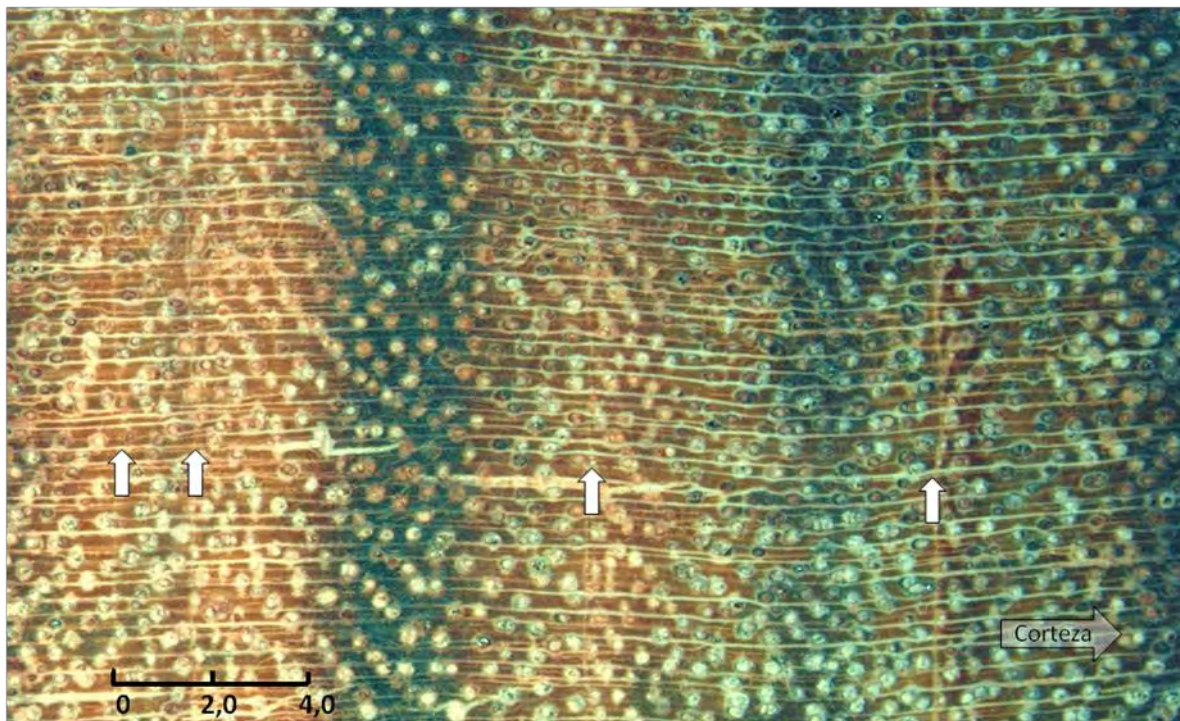


Figura 2.2. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Anadenanthera colubrina* (curupaú, cebil, ibira-pitá, curuaú barcino), mostrando el arreglo anatómico que determina la visibilidad de los anillos de crecimiento. Las flechas indican el límite entre anillos de crecimiento marcado por parénquima marginal.

### *Cariniana ianeirensis* (yesquero, yesquero blanco)

Los anillos de crecimiento son visibles luego del pulido. Los poros se encuentran distribuidos en forma uniforme en todo el leño sin diferencias de tamaño entre el leño temprano y el tardío,

presentando en consecuencia, porosidad difusa. Gradualmente, la proporción del tejido fibroso que alcanza su máximo al final del ciclo de crecimiento va aumentando a lo largo del anillo.

Por lo tanto, el leño tardío formado por un alto porcentaje de tejido fibroso con paredes celulares engrosadas y de color oscuro, contrasta con una banda de tejido parenquimático inicial mucho más claro al comienzo del nuevo ciclo de crecimiento (Fig. 2.3).

A pesar de la relativa buena visibilidad de los anillos de crecimiento, las lentes de crecimiento son comunes en esta especie (Fig. 2.3). Estos elementos actúan como cuñas en el leño, con un espesor variable según el sector del fuste que se considere. Por lo tanto, el fechado exacto del material examinado se torna algo dificultoso dada la diferencia en el número y espesor de las bandas observadas en radios diferentes de un mismo fuste.

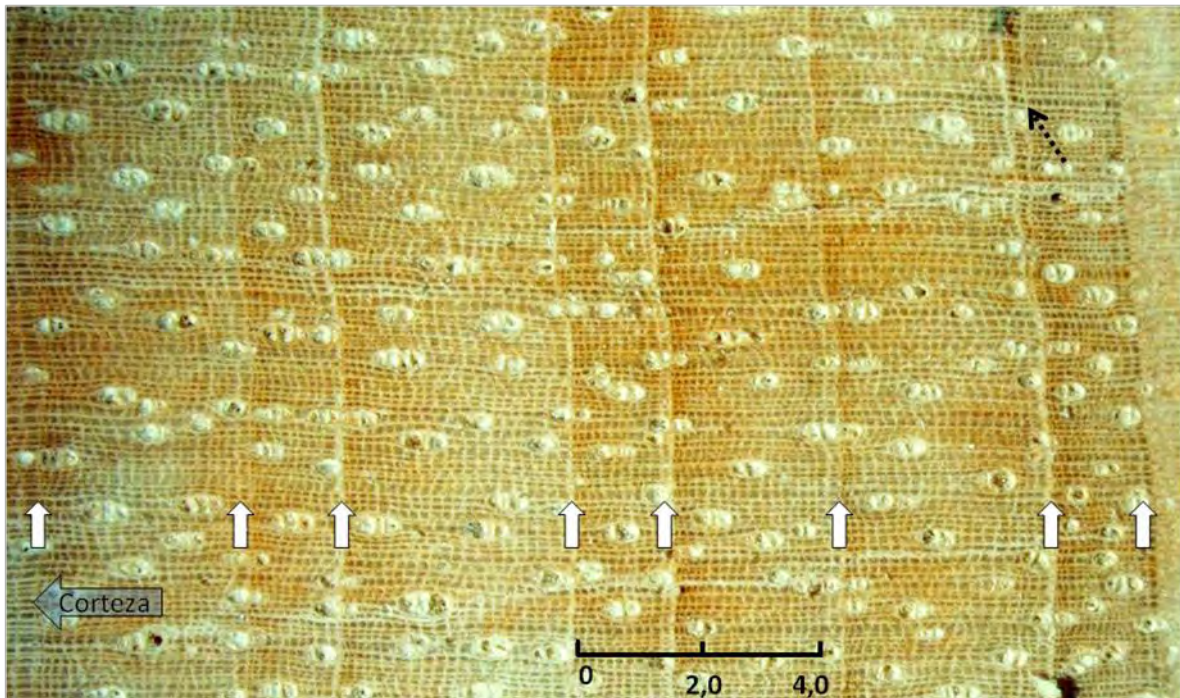


Figura 2.3. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Cariniana ianeirensis* (yesquero, yesquero blanco), donde se muestran los cambios graduales en el arreglo de los elementos anatómicos del leño (las fibras en particular) que determinan la visibilidad de los anillos de crecimiento. Las flechas blancas indican el límite entre anillos de crecimiento y la flecha negra punteada (arriba a la derecha) muestra el inicio de un lente de crecimiento.



***Cedrela fissilis*** (cedro)

Presenta leño de porosidad semi-circular determinada por los poros más numerosos y de mayor tamaño del leño de primavera; poros solitarios o múltiples bi y tripartidos, de forma oval, elíptica o redonda. El parénquima leñoso se dispone a menudo en el leño temprano, uniéndose los poros lateralmente entre sí.

Los anillos de crecimiento son visibles a simple vista, inclusive antes de un pulido muy fino de la superficie transversal del leño. Las bandas anuales están delimitadas por una banda gruesa de parénquima inicial formada al comienzo de cada periodo de crecimiento (Fig. 2.4).

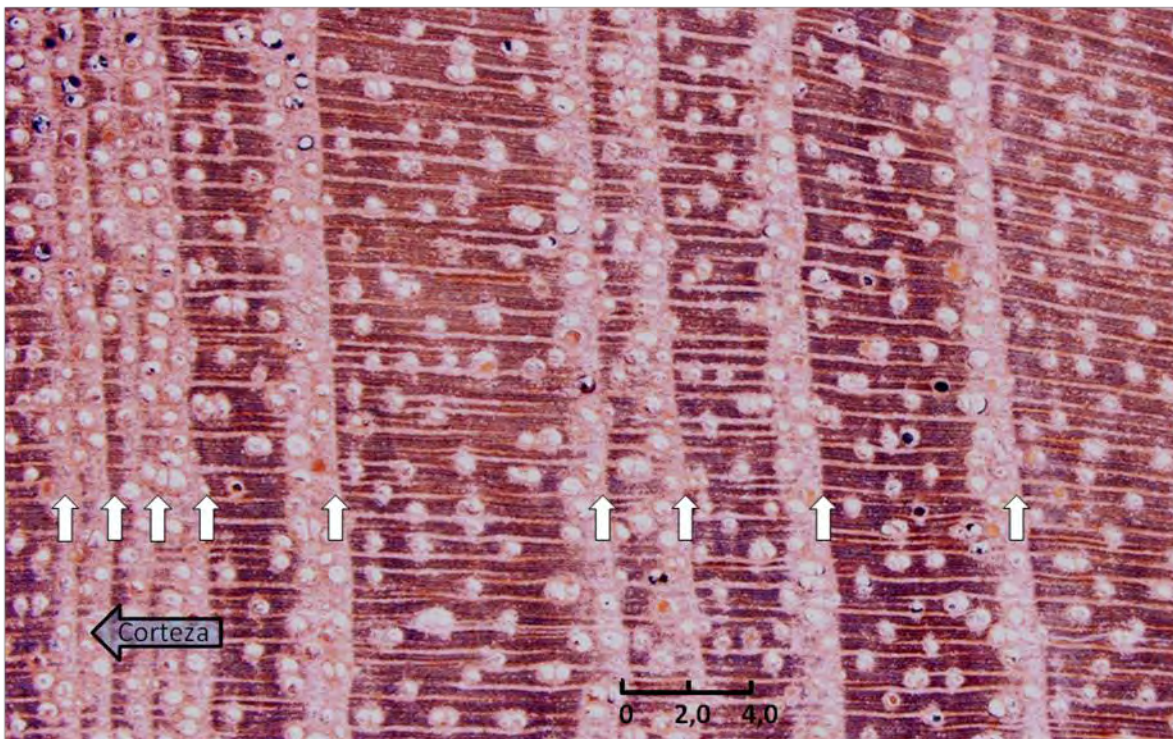


Figura 2.4. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Cedrela fissilis* (cedro), mostrando la presencia de bandas de tejido parenquimático inicial que determinan la correcta delimitación de los anillos de crecimiento. Las flechas indican el límite entre anillos de crecimiento.

Esta banda de parénquima inicial que rodea los vasos de mayor tamaño formados al comienzo del ciclo de crecimiento contrasta con el leño tardío con vasos más escasos y pequeños rodeados por un porcentaje alto de tejido fibroso. A medida que los árboles aumentan en diámetro, los anillos de crecimiento son generalmente más angostos. Justamente en estos sectores del leño, la lectura de los anillos se torna dificultosa, ya que en los anillos

muy delgados las bandas de tejido parenquimático inicial tienden a unirse entre sí, haciendo muy difícil la determinación en estos sectores de las bandas anuales (Fig. 2.4, sector izquierdo). Aún cuando no muy frecuentes, se ha observado la presencia de lentes de crecimiento.

***Centrolobium microchaete*** (tarara amarilla, tarara, madera canaria)

Los anillos de crecimiento son visibles después de un pulido óptimo. Los límites entre anillos de crecimiento están marcados por una banda muy delgada de parénquima marginal (Fig. 2.5). La determinación de los anillos se ve facilitada por el patrón de distribución de los vasos siendo estos más grandes en el leño temprano que el tardío. A su vez, este cambio gradual en el tamaño de los vasos a lo largo del anillo de crecimiento es acompañado por un aumento paulatino del tejido fibroso que le confiere un color algo más oscuro al leño tardío. Si bien la identificación de los anillos se hace más dificultosa a medida que aumenta la edad de los árboles, el pulido prolijo posibilita distinguir todas las bandas de crecimiento presentes a lo largo de las secciones transversales.

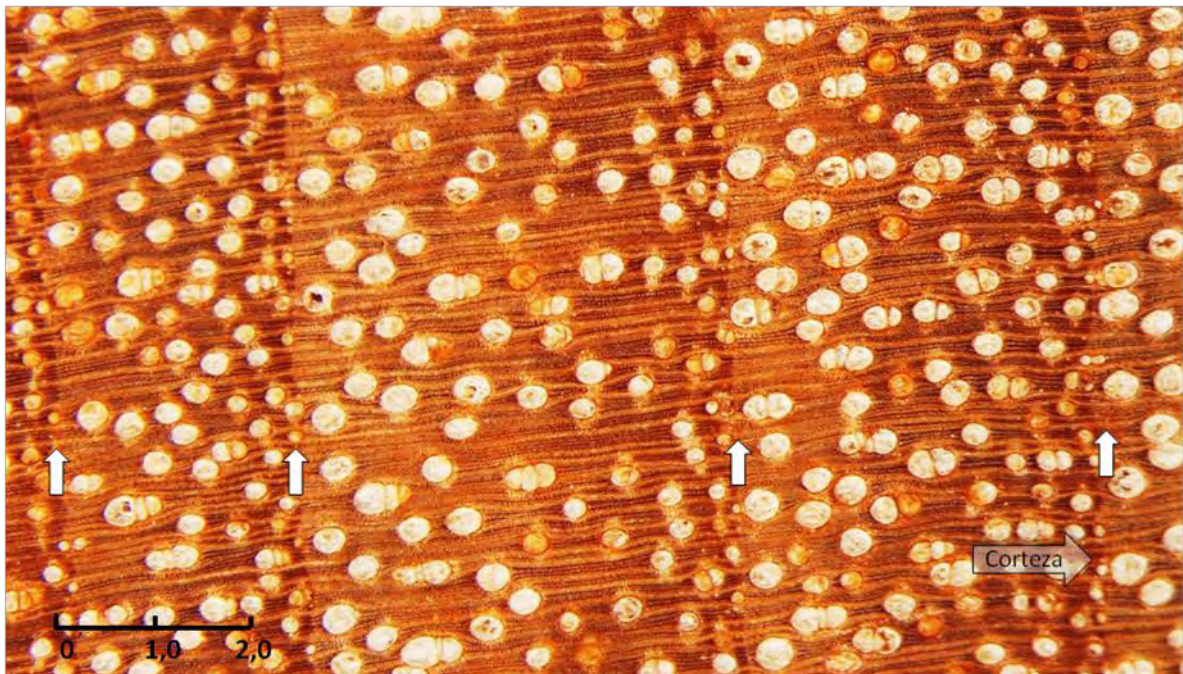


Figura 2.5. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla), donde se puede apreciar el arreglo de los elementos leñosos que determina la visibilidad de los anillos de crecimiento. Las flechas indican el límite entre anillos de crecimiento.



En algunas localidades pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano, esta especie presenta bandas coloreadas en el sector del duramen. Estas bandas moradas pueden abarcar más de un anillo y dificultar en algunos casos la visibilidad del tejido parenquimático que delimita los anillos de decrecimiento. Sin embargo, las diferencias entre estas bandas y los anillos de crecimiento son fácilmente reconocidas, los anillos de crecimiento siempre presentan una línea continua de parénquima marginal, en cambio estas bandas son irregulares y pueden abarcar dos o más anillos de crecimiento. En esta especie no se observaron falsos anillos y/o lentes de crecimiento, por lo que se asume que las bandas observadas corresponden a anillos anuales.

### *Copaifera chodatiana* (sirarí)

Los anillos de crecimiento en *C. chodatiana* son visibles a simple vista, particularmente en secciones frescas recién cortadas.

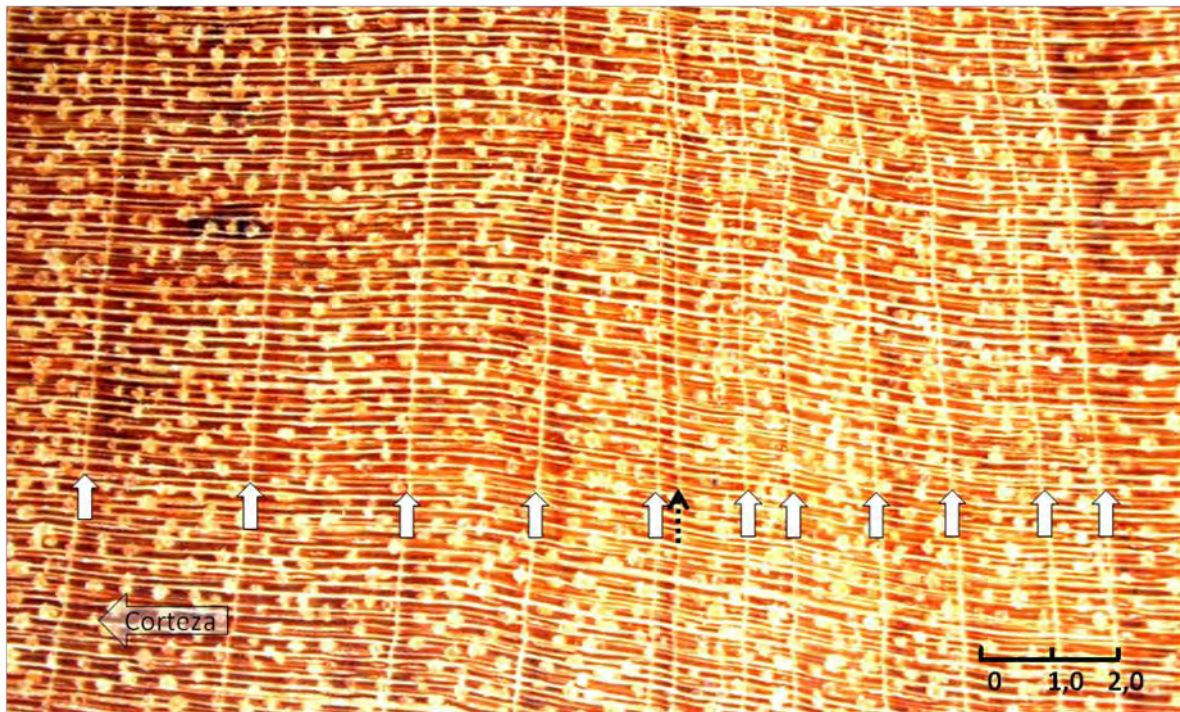


Figura 2.6. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Copaifera chodatiana* (sirarí), donde se pueden observar claramente las bandas de tejido parenquimático que determinan los límites entre anillos de crecimiento. Las flechas sólidas indican el límite entre anillos de crecimiento y la flecha con puntuaciones de color negro muestra la presencia de una lente de crecimiento.

Las bandas que delimitan los anillos están dadas por líneas claramente distinguibles y muy contrastantes de parénquima marginal. Desafortunadamente, las lentes de crecimiento son muy comunes en esta especie (Fig. 2.6). Si bien en algunos anillos la proporción de vasos disminuye en el sector final del leño tardío, esto no siempre ocurre, particularmente cuando las bandas de crecimiento son más delgadas.

***Ficus boliviana*** (bibosí, bibosí colorado)

Los anillos de crecimiento son comparativamente anchos y visibles a simple vista, inclusive fáciles de distinguir que cuando se los observa bajo lupa. Esto se debe a la presencia de numerosas bandas de tejido parenquimático apotraqueal en un mismo ciclo de crecimiento, las que al ser observadas con grandes aumentos se pueden confundir con bandas anuales de crecimiento. Los anillos de crecimiento están definidos por la presencia de sectores del leño dominados por fibras con paredes radialmente comprimidas, las cuales se observan como bandas de color marrón oscuro muy contrastante en el tejido parenquimático más claro (Fig. 2.7).

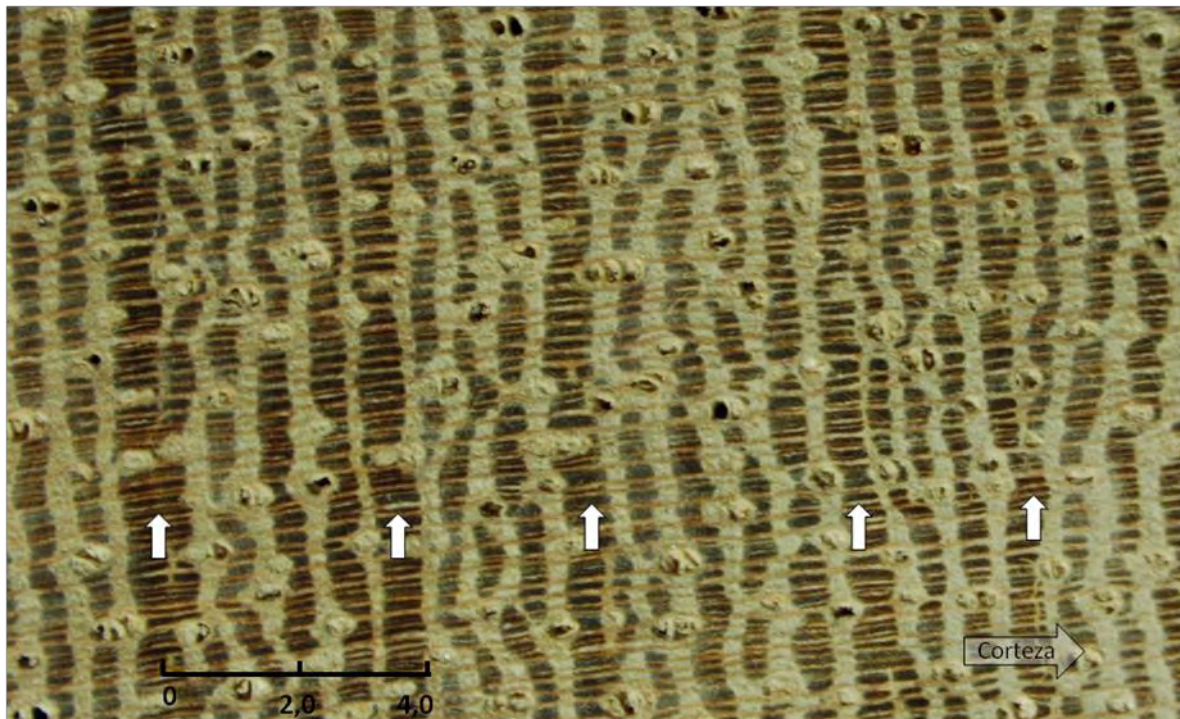


Figura 2.7. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Ficus boliviana* (bibosí, bibosí colorado), mostrando el arreglo anatómico que determina la visibilidad de los anillos de crecimiento. Las flechas indican el límite entre anillos de crecimiento.



En algunos sectores del fuste de *F. boliviana*, y principalmente donde los anillos son relativamente angostos, las gruesas bandas de parénquima desdibujan a las bandas marrones de fibras correspondientes al límite de los anillos de crecimiento, y por lo tanto, no es posible precisar con exactitud el inicio y final de cada anillo. Dado la gran abundancia de parénquima en el leño no se observó diferencias contrastantes entre el leño temprano y tardío.

Generalmente la visibilidad de los anillos de crecimiento es mayor en árboles jóvenes o en aquellos sectores de la sección transversal donde los anillos son anchos. A medida que los árboles aumentan en diámetro y los anillos se reducen en tamaño, la lectura de los mismos se dificulta.

### *Hymenaea courbaril* (copal, paquí, algarrobo)

Los anillos de crecimiento de *H. courbaril* son visibles a simple vista. Las bandas de crecimiento están definidas por la presencia de bandas de parénquima marginal.

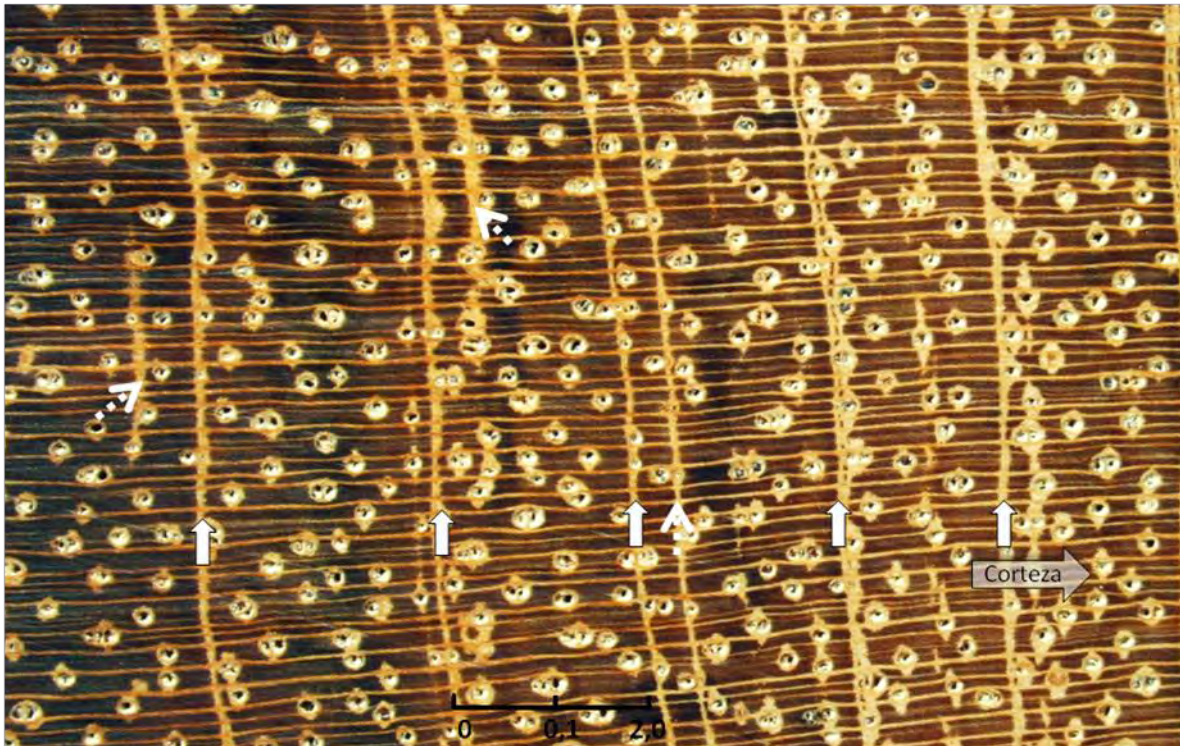


Figura 2.8. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Hymenaea courbaril* (paquí), donde se observan filas continuas de parénquima asociadas a la delimitación de los anillos de crecimiento. Las flechas sólidas indican el límite más probable de los anillos de crecimiento y las flechas de puntos señalan lentes de crecimiento.

En algunos sectores del leño también se observan bandas continuas o interrumpidas de tejido parenquimático que muy probablemente corresponden a lentes de crecimiento (Fig. 2.8). Las lentes de crecimiento presentes en el leño de esta especie son más comunes en el leño temprano donde la abundancia de parénquima es mayor.

No se observan diferencias en el diámetro de los poros entre el leño temprano y el tardío. La mayoría de los vasos están rodeados por parénquima aliforme, confluyente en algunos casos, y que forman líneas semicirculares que relacionan a las lentes de crecimiento.

### *Machaerium scleroxylon* (morado)

Las bandas de crecimiento en *M. scleroxylon* fueron visibles después de lograr un excelente pulido. El límite entre los anillos de crecimiento está dado por una línea delgada de parénquima marginal, pero en algunos sectores del leño es muy difícil distinguir las bandas anuales de aquellas correspondientes a bandas falsas (Fig. 2.9).

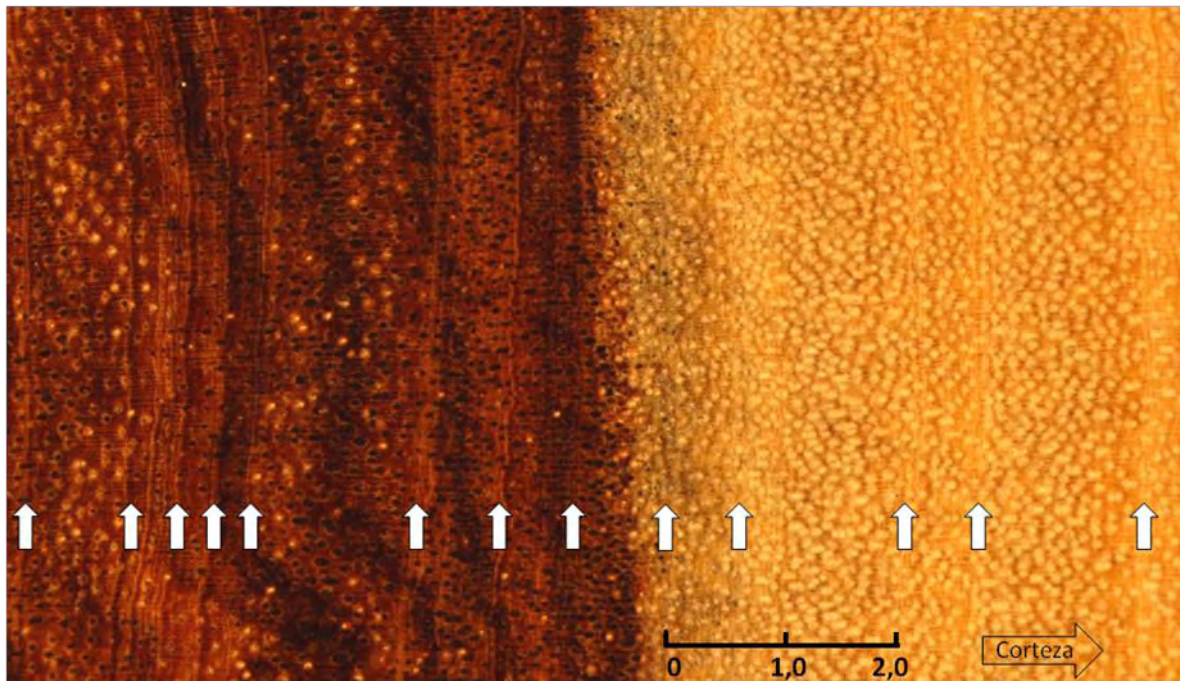


Figura 2.9. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Machaerium scleroxylon* (morado), donde se indican (flechas) las líneas de parénquima terminal asociadas a los anillos de crecimiento.

En el duramen, se observan bandas oscuras paralelas a los anillos de crecimiento, las cuales dificultan la correcta identificación de los anillos y la distinción de los leños temprano y tardío



en un mismo anillo. Estas bandas oscuras no están presentes en la albura y por lo tanto resulta más fácil la determinación de los anillos anuales de crecimiento. Los vasos están distribuidos en el leño sin presentar ningún arreglo particular en relación a los anillos de crecimiento.

***Platimiscium ulei*** (tarara colorada, tarara negra, tarara barcina)

Los anillos de crecimiento son visibles directamente bajo lupa luego de un pulido prolijo con lijas de grano fino. El límite entre los anillos anuales está dado por la presencia de una banda fina de parénquima marginal situada al final de cada período de crecimiento (Fig. 2.10).

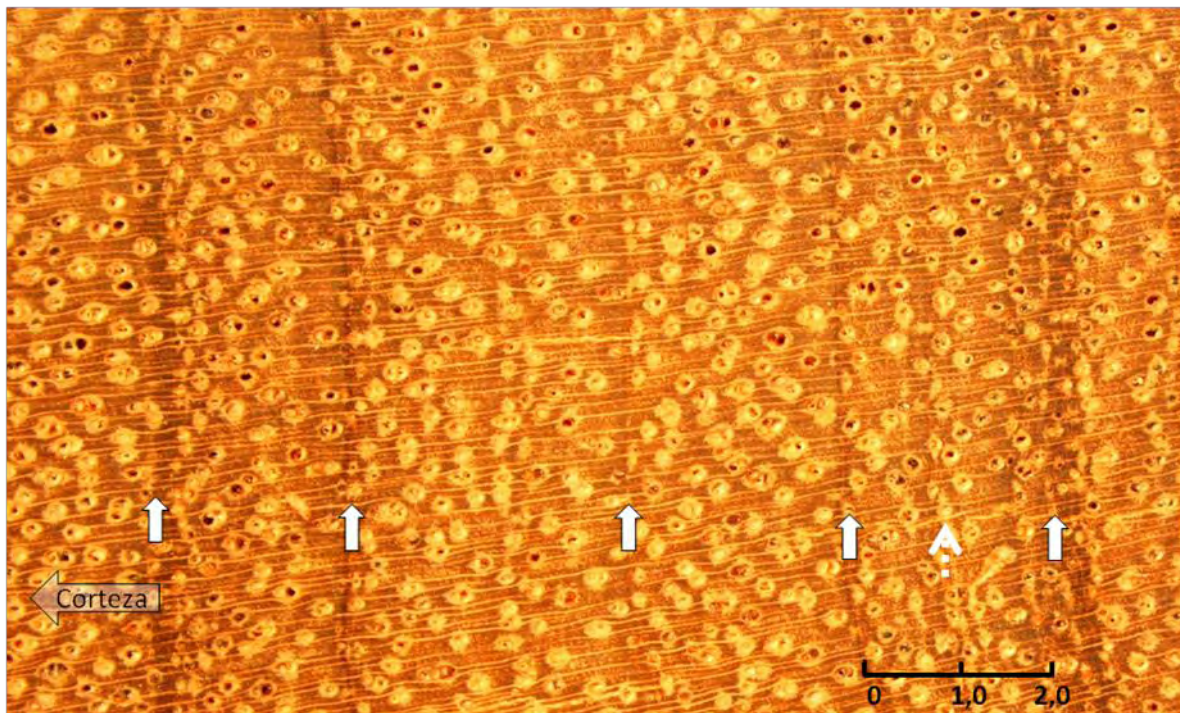


Figura 2.10. Fotografía macroscópica de una sección transversal del leño de *Platimiscium ulei* (tarara colorada), mostrando el arreglo anatómico que determina la visibilidad de los anillos de crecimiento. Las flechas sólidas indican el límite entre anillos de crecimiento.

En algunos sectores del leño se observan bandas de parénquima que se asemejan a las bandas que definen los anillos, pero como en los casos anteriores resulta imposible establecer su carácter anual sin un estudio previo de actividad cambial. Particularmente estas bandas tienen las características de los falsos anillos, ya que estructural y anatómicamente son diferentes a las bandas anuales. En general estos falsos anillos son menos demarcados y fácilmente pueden ser identificados ya que no presentan diferencias entre leños y generalmente pertenecen a un

leño ya sea el tardío o temprano. En general, se observan diferencias entre leño temprano y tardío, pero el patrón es muy variable. Los vasos, rodeados de parénquima aliforme confluyente, son generalmente más grandes al comienzo de los anillos de crecimiento. En algunos anillos se observa un aumento del tejido fibroso más oscuro al finalizar la banda anual de crecimiento.

***Zeyheria tuberculosa*** (cabeza de mono, jopo de mono, tajibo cabeza de mono)

Los anillos de crecimiento son visibles después de pulir la superficie leñosa con lijas muy finas y con la ayuda de lupas de diferentes aumentos. Como en la mayoría de las especies estudiadas, los anillos de crecimiento están definidos por una línea continua de parénquima marginal (Fig. 2.11).

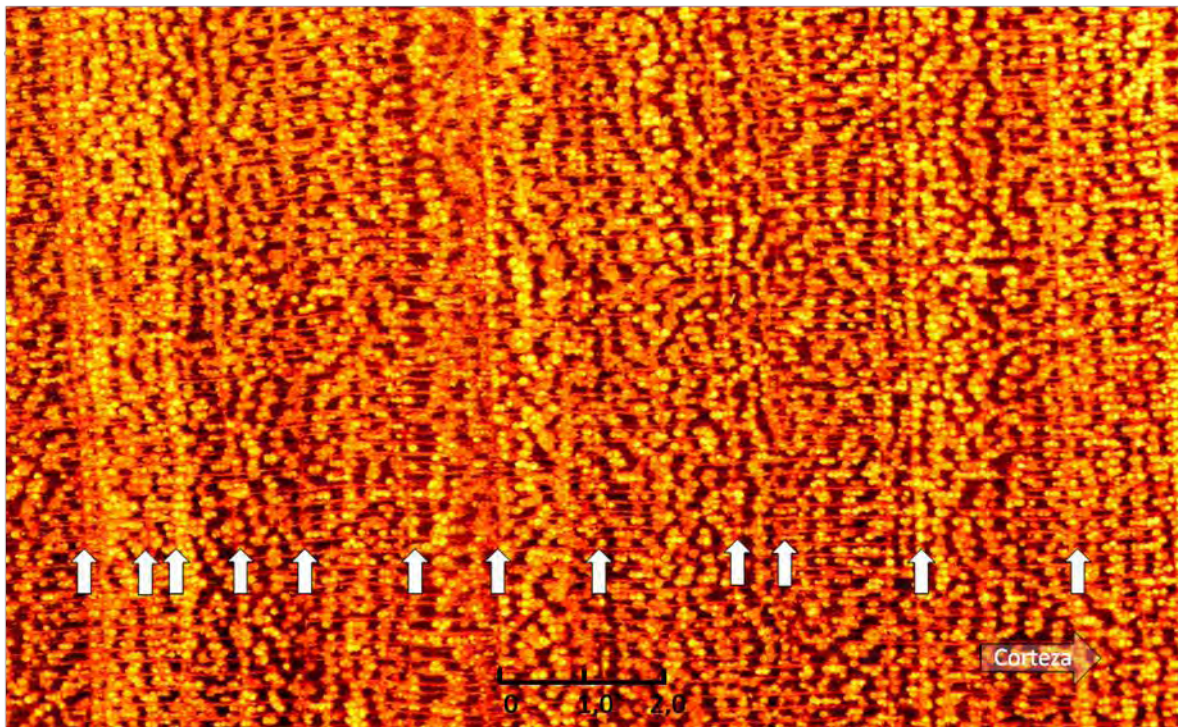


Figura 2.11. Sección transversal del leño de *Zeyheria tuberculosa*, mostrando el arreglo anatómico que determina la visibilidad de los anillos de crecimiento. Las flechas sólidas indican las líneas de parénquima marginal que determinan los límites entre anillos de crecimiento.

Algunas de las bandas delimitadas por el parénquima marginal son muy delgadas y resulta muy difícil establecer la naturaleza anual de las mismas. Sin embargo, cortes delgados

ayudarían claramente definir con precisión los límites anuales entre bandas. A su vez, se observaron lentes de crecimiento en algunos sectores de la madera. En algunos anillos, las bandas de tejido parenquimático marginal contrastan con una hilera de vasos de pequeño tamaño al comienzo de la banda siguiente de crecimiento lo que facilita la datación.

#### 4.2. Características dendrocronológicas de las especies en estudio

Para que los métodos dendrocronológicos puedan emplearse exitosamente se requiere la presencia de ciertas características en el leño de los árboles. Los anillos de crecimiento deben ser visibles, a simple vista o bajo la magnificación de una lupa, en la sección transversal del leño (Stokes & Smiley 1968). Si bien esta es la condición más importante, se requieren otras características para que los anillos de crecimiento sean de utilidad en el fechado de muestras leñosas. Los árboles deben formar solo una banda por estación de crecimiento. Finalmente el crecimiento radial de los árboles debe ser uniformemente circular, o sea todo a lo largo del diámetro del tronco, y además debe mantener la misma proporción del espesor en relación a sus anillos vecinos. Esta característica es conocida en Dendrocronología como uniformidad circular. Un anillo relativamente ancho en un sector debe serlo todo a lo largo del diámetro del fuste, de lo contrario la información proveniente de los diferentes radios de un fuste sería distinta y por lo tanto difícil de evaluar.

A continuación se evalúan las características dendrocronológicas de cada una de las especies descritas anteriormente.

##### *Amburana cearensis*

De los 18 individuos de *A. cearensis* colectados en el área de aprovechamiento forestal de la comunidad Santa Anita, en solo seis árboles se logró cofechar o hallar un patrón común de crecimiento en sus anillos. Estos árboles presentan un patrón común de variación en el ancho de sus anillos de crecimiento, con una correlación entre series de  $r = 0,44$ , y una sensibilidad media de 0,31 ( $n=6$ ) (Fig. 2.12).

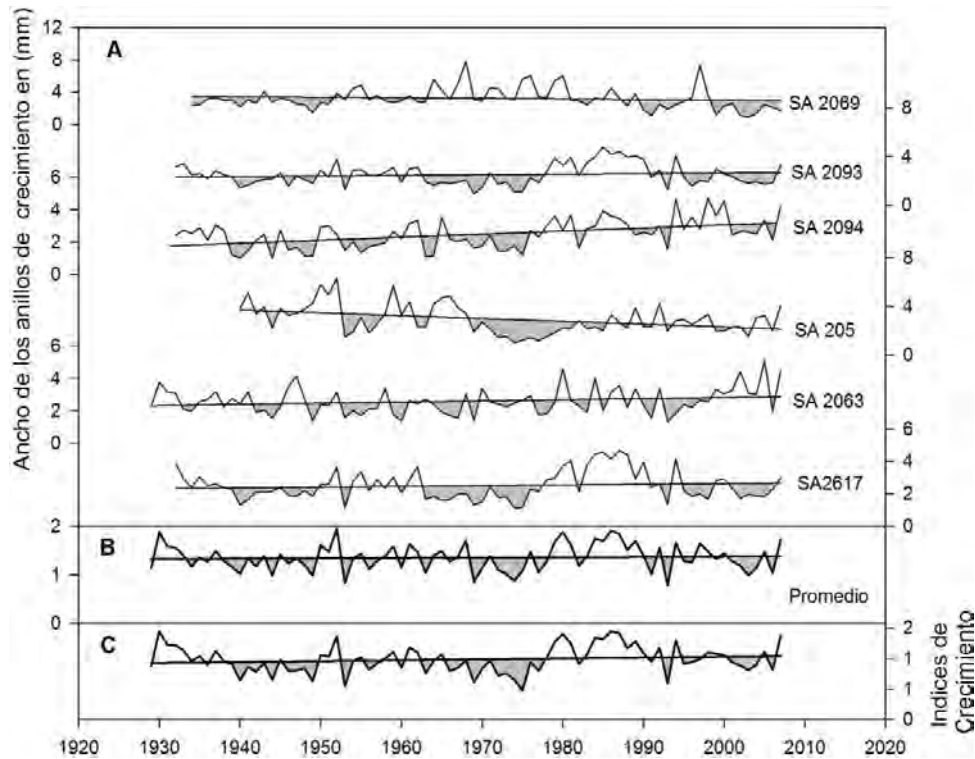


Figura 2.12. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento de *Amburana cearensis* (roble criollo); A, series individuales de seis árboles mostrando las variaciones interanuales en el ancho de sus anillos; B, promedio del crecimiento de los seis árboles y C, índices de crecimiento calculados a través del ajuste de curvas exponencial negativo empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999).

Los 12 árboles restantes, en los cuales no se pudo encontrar un patrón común de crecimiento fueron igualmente fechados. En estos individuos, las diferencias en el número de anillos contados entre radios fue usado como una medida del error asociado al fechado de esta especie. Posteriormente, se procedió a medir las variaciones interanuales en el crecimiento. Si bien en estas muestras los anillos de crecimiento no pudieron ser fechados precisamente, el error de fechado fue de 2 años/100 años, con lo cual la información sobre el ritmo de crecimiento sigue siendo válida para establecer los patrones de crecimiento de esta especie en la localidad de Santa Anita.

### *Anadenanthera colubrina*

En la mayoría de las secciones transversales analizadas en el presente trabajo, no se observaron falsos anillos ni lentes de crecimiento. Estas observaciones nos llevan a suponer que las bandas en el leño de *A. colubrina* corresponden a anillos anuales de crecimiento. Sin



embargo, de los 31 árboles colectados en la Localidad de Concepción, solo en seis ejemplares se observaron patrones comunes en los anillos de crecimiento provenientes de radios diferentes dentro de una misma sección transversal. Los valores de la correlación entre series fue de  $r = 0,31$  y una sensibilidad media de 0,46 ( $n=6$ ). (Fig. 2.13)

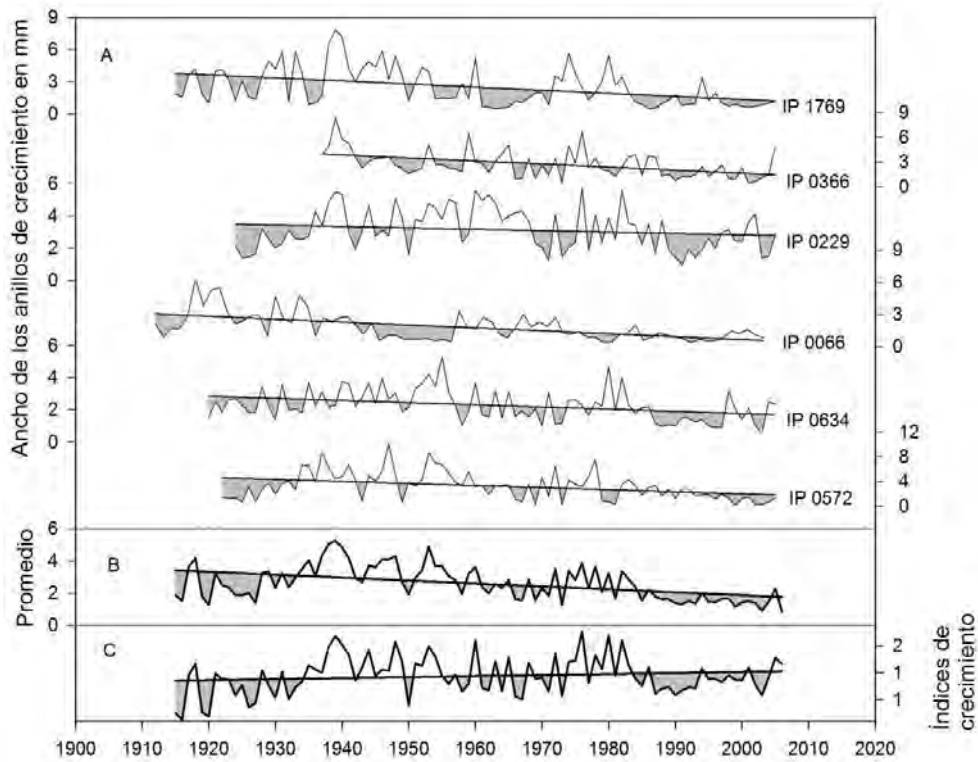


Figura 2.13. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos de *Anadenanthera colubrina* (curupau), A, series individuales de seis árboles mostrando las variaciones interanuales en el ancho de sus anillos, B, promedio del crecimiento de los seis árboles y C, índices de crecimiento calculados a través del ajuste de curvas exponencial negativo empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999)

En los 25 árboles restantes, en los cuales no fue posible encontrar patrones comunes de crecimiento entre radios diferentes de una misma sección transversal, y dada la ausencia de falsos anillos o lentes de crecimiento, se asumió que la ausencia de patrones comunes de crecimiento se debió a la falta de uniformidad circular en los anillos. Se observó que anillos que son relativamente delgados en algún sector del fuste se tornan relativamente anchos en otros sectores. Una vez fechadas las muestras se procedió a la medición de los anillos de crecimiento con una precisión de 0,001mm. Estas mediciones, en conjunto con las

provenientes de los radios correctamente fechados, fueron usadas para estimar la tasa de crecimiento de *A. colubrina* en la localidad de Concepción.

### *Cariniana ianeirensis*

Si bien los anillos de crecimiento en *C. ianeirensis* son visibles, en la mayoría de los árboles analizados, las bandas son irregulares no cumpliendo con el requerimiento de uniformidad circular, necesario para lograr el fechado preciso de radios provenientes de una misma sección transversal. Frecuentemente los anillos son interrumpidos por bandas semicirculares relacionadas con lentes de crecimiento que dificultan aún más encontrar patrones similares entre radios de un mismo árbol.

Si bien se fecharon dos radios por cada uno de las secciones colectadas, la falta de uniformidad circular no permitió identificar patrones comunes de crecimiento entre radios. Sin embargo, se puede apreciar la tendencia de la variación del ancho de los anillos a largo plazo hasta el presente (Fig. 2.14).

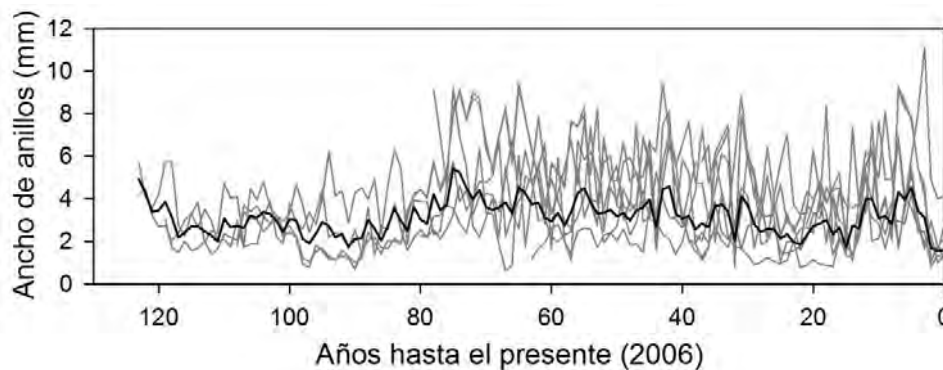


Figura 2.14. Ancho de los anillos de crecimiento de 9 secciones transversales de *Cariniana ianeirensis*, en función al número de anillos hasta el presente (2006).

### *Cedrela fissilis*

La marcada disminución en el ancho de los anillos con el tiempo, acompañada por la presencia de algunas lentes de crecimiento en esta especie, dificulta el fechado entre radios de un mismo ejemplar y por lo tanto entre radios de árboles diferentes. La presencia de anillos muy angostos, también limita el fechado correcto de las bandas anuales de crecimiento.

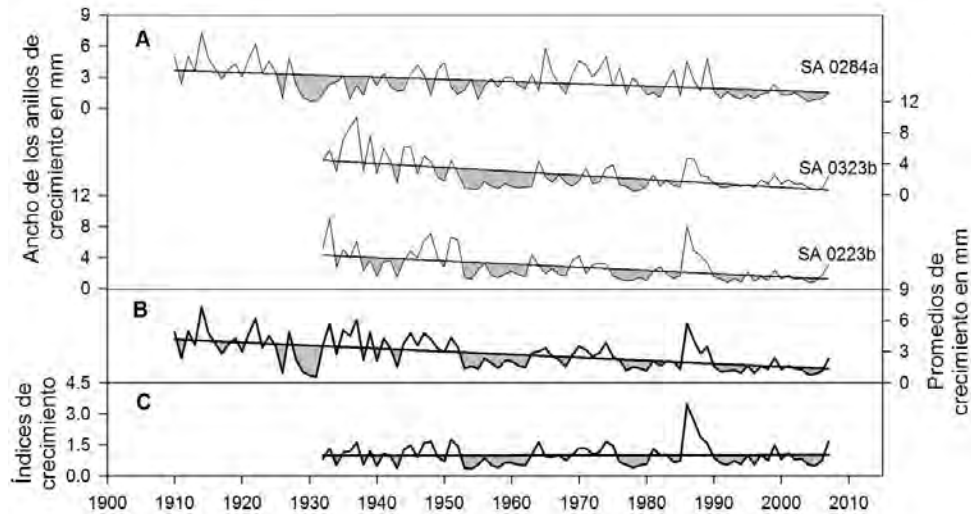


Figura 2.15. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos *Cedrela fissilis* (cedro): series individuales de seis árboles mostrando las variaciones interanuales en el ancho de sus anillos, A, el promedio (línea gruesa oscura) de nueve árboles, B, y C, índices de crecimiento calculados a través del ajuste de curvas exponencial negativo empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999).

De los 20 árboles colectados en áreas de aprovechamiento forestal perteneciente a la comunidad Santa Anita, sólo en tres árboles se observaron variaciones comunes en el ancho de anillos. La correlación entre series fue de  $r = 0,51$  y la sensibilidad media de 0,47 ( $n=3$ ) (Fig. 2.15).

En los 17 árboles restantes, en los cuales no fue posible encontrar patrones comunes de crecimiento entre radios diferentes en una misma sección transversal, se procedió igualmente a la medición de los anillos de crecimiento con una precisión de 0,001mm. Estas mediciones, en conjunto con las provenientes de los radios correctamente fechados, fueron empleadas para estimar tasa de crecimiento de *C. fissilis* en la localidad de Santa Anita.

### ***Centrolobium microchaete***

En todas las secciones analizadas se observó un crecimiento circular, con anillos relativamente uniformes en espesor todo alrededor de las secciones analizadas. En algunos árboles de *C. microchaete* colectados en las localidades de Concepción, Santa Anita y Zapocó, se observaron sectores de leño comprimido con paquetes de anillos angostos, cuya presencia dificultó el fechado de los anillos de crecimiento en algunos árboles. Con excepción de estos árboles, se realizó el fechado correcto de los anillos de crecimiento, registrándose una buena

relación en el ancho de los anillos de crecimiento entre radios diferentes de un árbol y entre individuos de un mismo sitio (Fig. 2.16). En ninguno de los seis sitios de muestreo se observó la presencia de falsos anillos ni de lentes de crecimiento en el leño de *C. microchaete*.

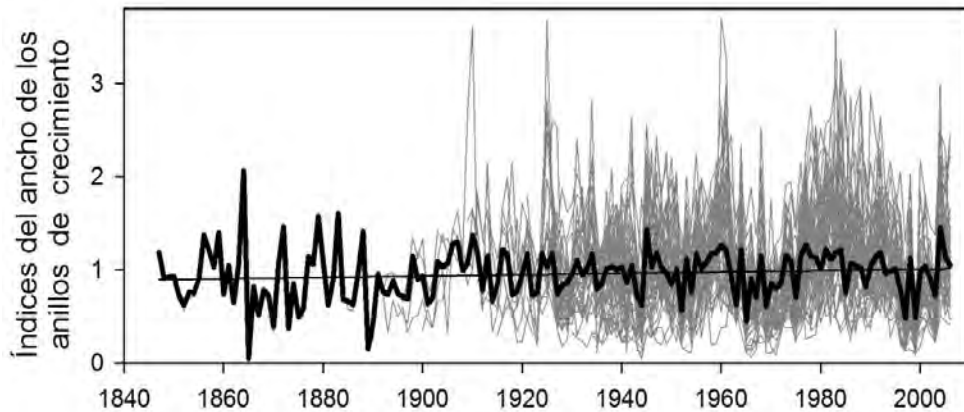


Figura 2.16. Índices de crecimiento de 50 individuos de *Centrolobium microchaete*, para la localidad de Santa Mónica. Las líneas gris delgadas corresponden a cada individuo y la línea gruesa de color negro al promedio.

Finalmente, todos los árboles de *C. microchaete* colectados en las comunidades de Zapocó, Makanaté y Guarayos–LC pudieron ser correctamente fechados. Por lo tanto todos estos árboles integran las series de los índices de crecimiento representadas en la Fig. 2.17.

En 35 de los 40 individuos muestreados en Concepción, se identificó un patrón común de crecimiento en el ancho de sus anillos. A su vez, de 52 secciones transversales colectadas en Santa Mónica, un patrón común de crecimiento fue observado en 50 individuos. En la comunidad de Santa Anita, 31 ejemplares del total de 35 muestreados, pudieron ser correctamente fechados.



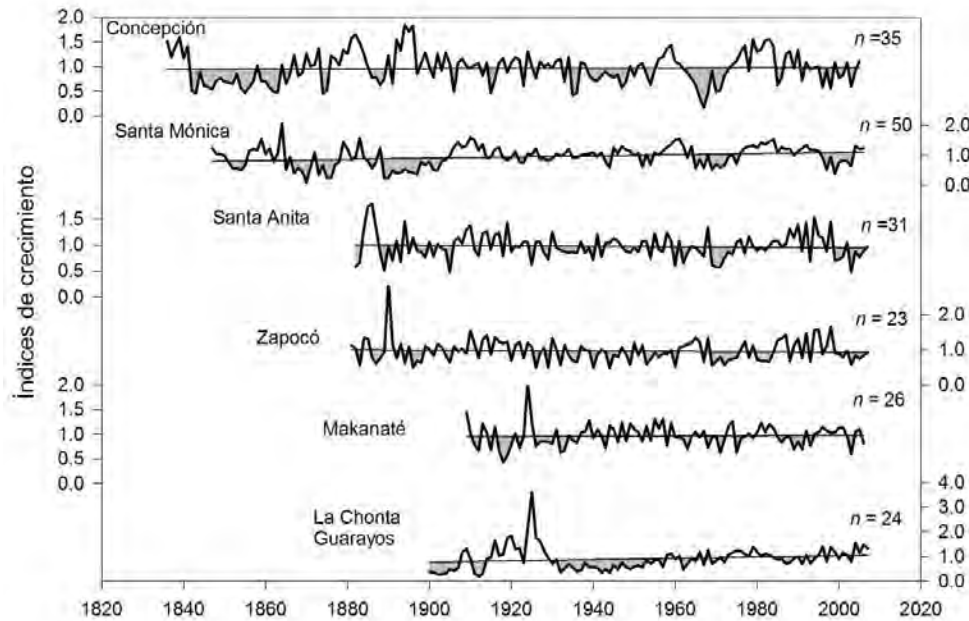


Figura 2.17. Índices de crecimiento de *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla) para seis localidades de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. Para cada localidad se indica el número de árboles incluidos en el promedio general. La función empleada para obtener los índices fue exponencial negativa empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999)

### *Copaifera chodatiana*

Aún cuando los anillos de crecimiento son visibles a simple vista, la presencia de lentes de crecimiento y la falta de uniformidad circular en las bandas anules de crecimiento de *C. chodatiana*, han dificultado identificar patrones comunes en el ancho de los anillos de crecimiento. Estas irregularidades en el leño, se observaron en árboles de todas las edades, como también dentro de cada árbol en los sectores juveniles o adultos del leño.

De un total de 18 árboles muestreados en Concepción, solo en 5 secciones transversales fue posible encontrar un patrón común de crecimiento luego de ajustar los radios a un número similar de anillos. La correlación entre radios fue de  $r = 0,50$ , con una sensibilidad media de 0,41 ( $n=6$ ) (Fig. 2.18).

En el caso de los 13 árboles restantes, en los que no se observó un patrón similar entre radios de un mismo árbol, se contabilizaron las diferencias en el número de anillos entre radios de una misma sección con el objetivo de evaluar el posible error de fechado. En base a estas diferencias se estimó un error de fechado promedio de 3,5 años en individuos de

aproximadamente 100 años. Posteriormente al fechado, se midieron los ancho de los anillos para estimar la tasa de crecimiento de *C. chodatiana* en la localidad de Concepción.

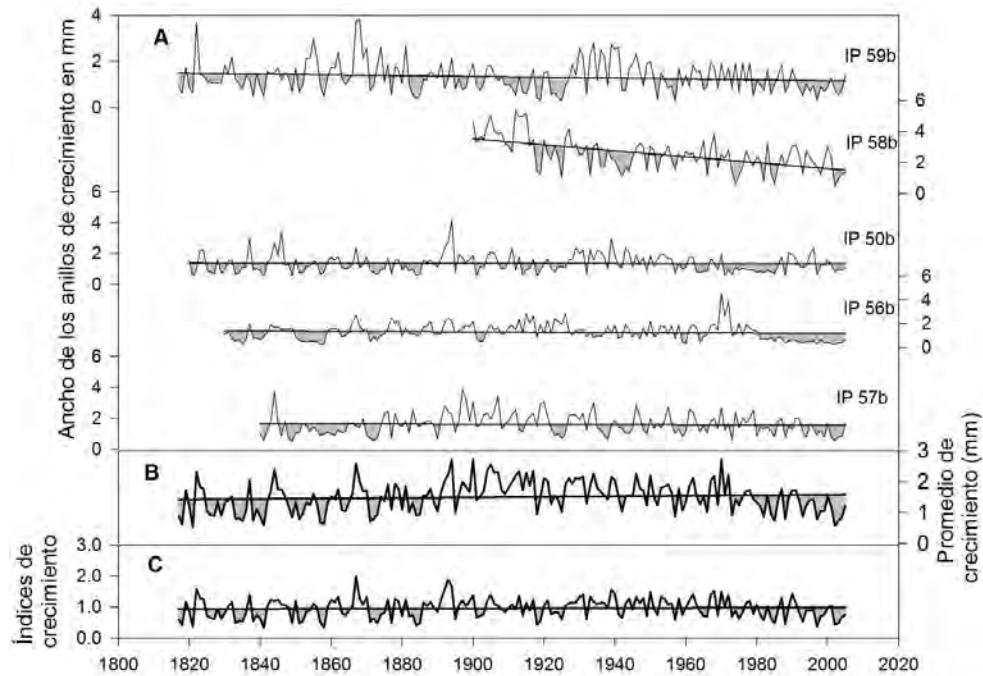


Figura 2.18. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento de *Copaifera chodatiana*; A, series individuales de seis árboles mostrando las variaciones interanuales en el ancho de sus anillos; B, promedio del crecimiento de los cinco árboles incluidos en A, y C, índices de crecimiento calculados a través del ajuste de curvas exponencial negativo empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999).

### *Ficus boliviana*

Los nueve árboles de *F. boliviana* colectados en la Localidad de La Chonta–Guarayos, mostraron un crecimiento uniforme en el espesor de las bandas de crecimiento. En ninguna sección transversal se observaron lentes de crecimiento y/o falsos anillos. Sin embargo, en árboles con diámetros grandes fue muy difícil precisar los límites de las bandas de crecimiento en los sectores más externos, donde en general, los anillos de crecimiento son más estrechos. Precisamente, fue en los árboles más jóvenes donde se pudo identificar patrones de crecimiento similares entre radios de un mismo tronco y entre individuos diferentes. Los valores de la correlación entre series fue de  $r = 0,69$  con una sensibilidad media de 0,32 ( $n=5$ ). (Fig. 2.19).

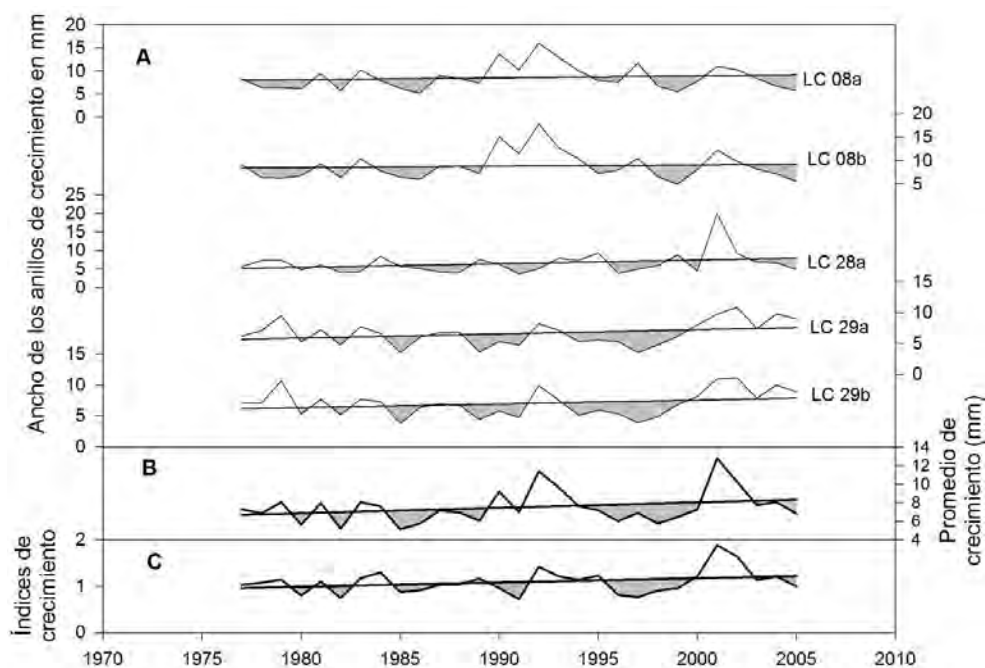


Figura 2.19. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento de *Ficus boliviana*, A, series individuales de seis árboles de *Ficus boliviana*, mostrando las variaciones interanuales en el ancho de sus anillos; B, promedio del crecimiento de los cinco árboles y C, índices de crecimiento calculados a través del ajuste de curvas exponencial negativo empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999).

En los árboles en los que no fue posible encontrar patrones comunes de crecimiento entre radios diferentes en una misma sección transversal, se procedió similarmente a medir los anillos de crecimiento. Estas mediciones, en conjunto con las provenientes de los radios correctamente fechados, fueron usadas para estimar la tasa de crecimiento radial de *F. boliviana* en la localidad de Guarayos-LC.

### *Hymenaea courbaril*

Aunque los anillos de crecimiento en *H. courbaril* son visibles a simple vista, las diferencias en el número de anillos contabilizados entre radios opuestos de un mismo árbol fue de 2 a 6 anillos. En base a las diferencias observadas se estimó un error de fechamiento promedio de 6 años en individuos de aproximadamente 100 años. Frecuentemente los anillos son interrumpidos por bandas semicirculares relacionadas con lentes de crecimiento que dificultan encontrar patrones similares entre radios de un mismo árbol. Posteriormente se procedió a medir el ancho de los anillos de crecimiento y se reportan los valores en el gráfico 2, 20, se puede

apreciar la tendencia de la variación del ancho de los anillos a largo plazo hasta el presente (2006).

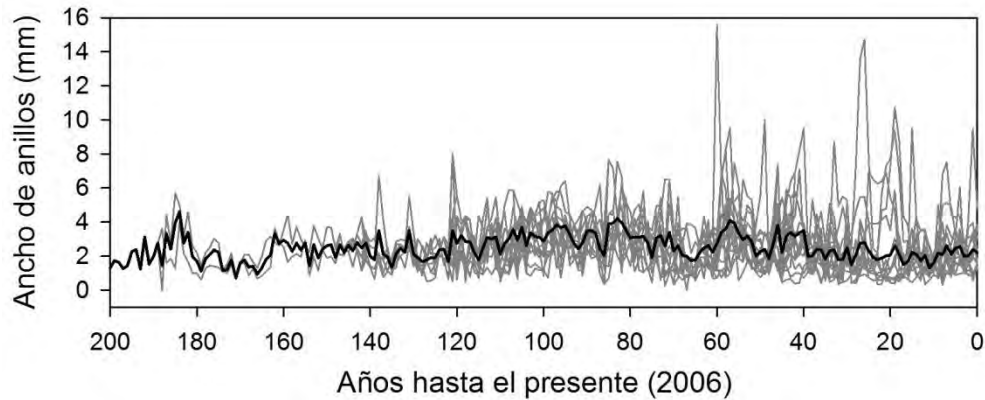


Figura 2.20. Ancho de los anillos de crecimiento de 33 secciones transversales de *Hymenaea courbaril*, en función al número de anillos hasta el presente (2006).

### ***Machaerium scleroxylon***

En varios sectores del leño se observaron bandas irregulares con frecuente presencia de lentes y falsos anillos. Por estas razones, no fue posible identificar patrones comunes de crecimiento entre radios de un mismo fuste de esta especie (Fig. 2.21).

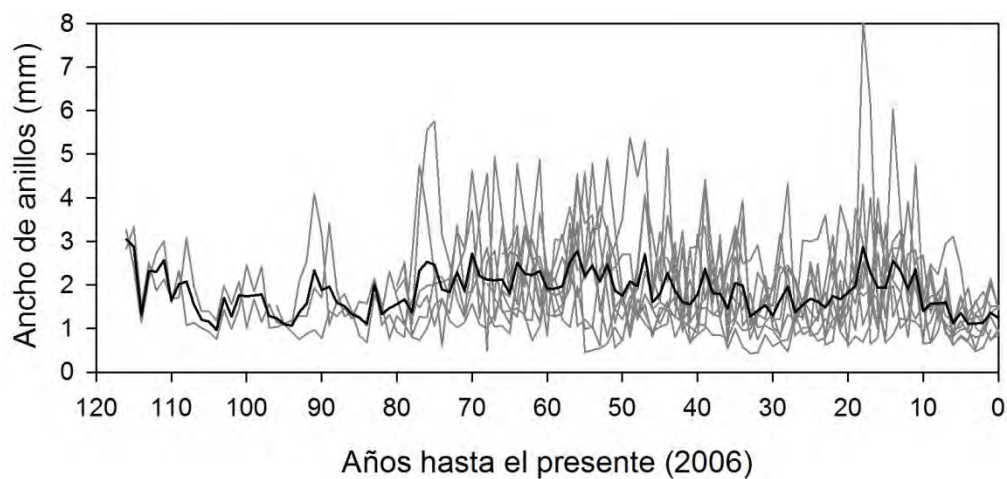


Figura 2.21. Ancho de los anillos de crecimiento de *Machaerium scleroxylon* (morado) en función del número de anillos hasta el presente (2006).

Sin embargo, con la intención de estimar la tasa de crecimiento de esta especie se procedió a identificar, con la mayor confiabilidad posible, un mismo número de bandas de crecimiento en radios de un mismo fuste. Las primeras lecturas del número de anillos en radios opuestos de un mismo árbol arrojaron diferencias de tres a cuatro anillos entre radios para 100 años. Luego las bandas fueron medidas con una precisión de 0.001mm. Ambos valores fueron graficados, en el cual se puede apreciar la tendencia de la variación del ancho de los anillos a largo plazo hasta el presente

### *Platimiscium ulei*

Los árboles de *P. ulei*, colectados en la Comunidad de Santa Anita, mostraron buenas características dendrocronológicas. De un total 20 árboles, en cinco de ellos se observó un patrón muy claro en el ancho de sus anillos de crecimiento (Fig. 2.22).

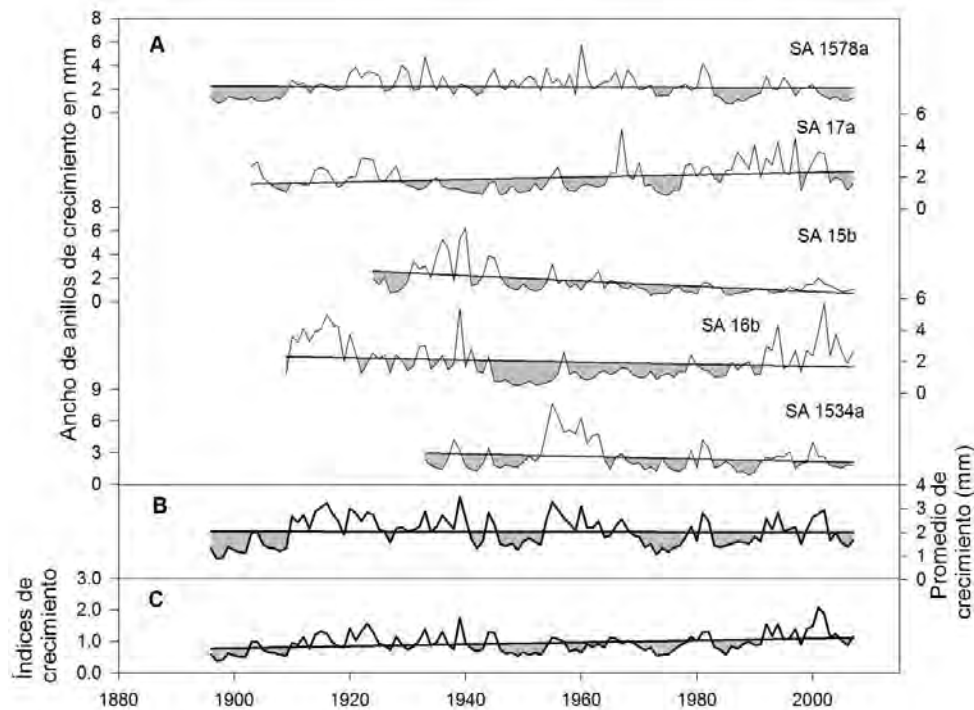


Figura 2.22. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento de *Platimiscium ulei* (tarara colorada), A, series individuales de seis árboles mostrando las variaciones interanuales en el ancho de sus anillos; B, promedio del crecimiento de los cinco árboles y C, índices de crecimiento calculados a través del ajuste de curvas exponencial negativo empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999).

La razón por lo que no se incluyeron más árboles en este grupo, fue debido a la presencia de paquetes con anillos finos que imposibilitó el fechado en algunos sectores de leño. El valor de correlación entre series fue bajo ( $r=0,30$ ) con una sensibilidad media de  $0,29$  ( $n=5$ ).

En los 15 árboles restantes, se procedió al fechado de dos radios por sección, donde en todos se logró determinar un mismo número de anillos en radios diferentes, pero no así el patrón común entre sus anchos. Luego los anillos igualmente fueron medidos para determinar las tasas de crecimiento de *P. ulei* en la localidad de Santa Anita.

### *Zeyheria tuberculosa*

A pesar que los anillos de crecimiento de *Z. tuberculosa* son visibles a simple vista, la presencia de lentes de crecimiento, permitió en sólo cuatro ejemplares, de un total de 12 muestreados, establecer patrones similares de crecimiento entre radios diferentes de un mismo fuste (Fig. 2.23). La correlación entre series fue de  $r=0,31$ , con una sensibilidad media de  $0,42$  ( $n=4$ ).

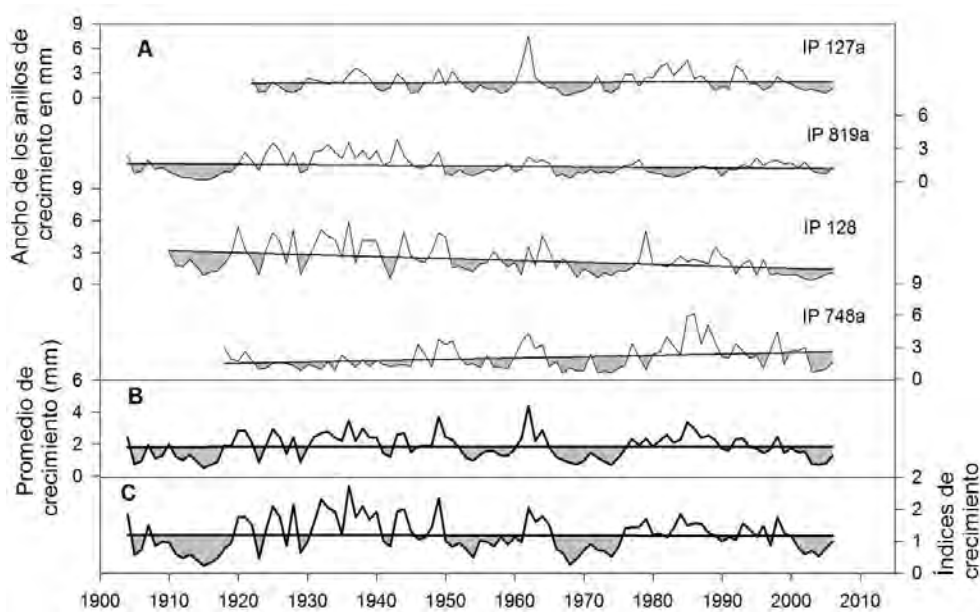


Figura 2.23. Variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento de *Zeyheria tuberculosa*, (tajibo mono) A, series individuales de seis árboles mostrando las variaciones interanuales en el ancho de sus anillos; B, promedio del crecimiento de los cuatro árboles y C, índices de crecimiento calculados a través del ajuste de curvas exponencial negativo empleando el programa ARSTAN, 0.40 (Cook & Holmes 1999).

En el caso de los ocho árboles restantes, en los cuales no mostraron un patrón similar entre radios de cada individuo, igualmente se midieron los anchos de los anillos con los cuales se estimaron las tasas de crecimiento de *Z. tuberculosa* en la localidad de Concepción.

## 5. Discusión y conclusiones

### 5.1. Anillos de crecimiento en árboles de la Chiquitania

La mayoría de las especies forestales examinadas en este estudio presentan dificultades al momento de fechar en forma precisa sus anillos de crecimiento. En todos los casos, la tarea de fechado se inició en los sectores de las secciones transversales donde los anillos eran más claramente visibles. Si esas secciones eran fechadas exitosamente, siguiendo los criterios establecidos para la delimitación de anillos en base al arreglo de los elementos del leño, se procedió a aplicarlos en las secciones restantes de manera de obtener estimaciones confiables de los ritmos de crecimiento de las 11 especies estudiadas.

La observación de los anillos de crecimiento en rodajas completas totalmente pulidas fue fundamental para establecer el patrón anatómico que cada una de las especies en estudio poseen en su estructura leñosa. A su vez, este patrón fue fundamental para delimitar las bandas de crecimiento y la identificación de otros elementos presentes en el leño como falsos anillos y lentes de crecimiento. La mayor diversidad de elementos leñosos en especies latifoliadas que en coníferas, y la mayor diversidad en que los elementos leñosos se encuentran en especies tropicales que en regiones templadas, da lugar a mayores diferencias en el tipo de arreglo anatómico que define un anillo de crecimiento.

La determinación de los anillos de crecimiento en los árboles del bosque tropical de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano depende, en gran medida, de la correcta identificación de los arreglos anatómicos que definen las bandas de crecimiento. En las especies analizadas se han distinguido tres arreglos anatómicos que asociados a la delimitación de los anillos de crecimiento. El patrón dominante fue la presencia de tejido parenquimático marginal (en 7 especies de 11 analizadas) al finalizar el anillo de crecimiento. La presencia de fibras leñosas comprimidas al final del anillo de crecimiento se registró en 3

especies, mientras que una combinación de tejido parenquimático inicial combinado con vasos de mayor tamaño al comienzo de los anillos ocurrió en una especie (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Principales características a considerar durante la datación de los anillos de crecimiento. A, especies con bandas visibles; B, presencia de lentes de crecimiento; C, Falsos anillos; D, Leño comprimido en paquetes; E, Uniformidad circular; F, bandas anuales de crecimiento y G, Coeficiente de correlación  $r$  (número de individuos) entre las series de ancho de los anillos de crecimiento. Patrón anatómico de los anillos de crecimiento; PT/I, Parénquima terminal/ Inicial; FC, Fibras comprimidas; EP, Elementos porosos (vasos). Los puntos llenos (●) y vacíos (◦) indican amplia y reducida presencia del carácter considerado, respectivamente.

Nombre de las especies en estudio		Características en las bandas de crecimiento							Patrón anatómico		
Científico	común	A	B	C	D	E	F	G	PT/I	FC	EP
<i>Amburana cearensis</i>	roble	●			●	●	●	0,44(6)		●	
<i>Anadenanthera colubrina</i>	curupaú	●			●	●	●	0,31(6)	●		
<i>Cariniana ianeirensis</i>	yesquero	●	●	●			◦	-		●	
<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	●			●		●	0,51(3)	●		●
<i>Centrolobium microchaete</i>	t. amarilla	●			◦	●	●	0,52(189)	●		
<i>Copaifera chodatiana</i>	sirarí	●	●				◦	0,50(6)	●		
<i>Ficus boliviana</i>	bibosí	●			●	●	●	0,69(5)		●	
<i>Hymenaea courbaril</i>	paquí	●	●		◦	◦	●	-	●		
<i>Machaerium scleroxylon</i>	morado	●	●				◦	-	●		
<i>Platimiscium ulei</i>	t. colorada	●		◦	●	●	●	0,30(5)	●		
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	tajibo	●	●				●	0,31(4)	●		●

Si bien todas las especies analizadas poseen bandas visibles de crecimiento, las lentes parciales y los falsos anillos también son frecuentes (Tabla 2.2). En especies con presencia de estos elementos no fue posible la datación exacta de las bandas de crecimiento. Las diferencias en el número de anillos entre radios fueron promediadas entre todas las secciones disponibles de cada especie y ese valor se consideró como una estimación del posible error en el fechado. Cuanto mayor es este error, mayor fue la diferencia que obtuvimos entre radios de un mismo ejemplar para una especie. Este valor es claramente consistente con el número de falsos anillos y/o lentes presentes en cada sección. O sea que el error, dado por la diferencia media entre radios de todas las secciones transversales de una especie, está relacionado con el número de irregularidades presentes en el leño de esa especie. Si bien estudios cambiales o



marcas en el leño de muy largo plazo serían necesarios para realizar una precisa estimación de los errores de fechados en el largo plazo, pensamos que este valor de diferencia entre radios podría tomarse como un indicador indirecto, pero bastante preciso, del error en el fechado. Los errores promedios observados fueron de 2 años en *A. cearensis*, 6 en *H. courbaril*, 3,5 en *M. scleroxylon* en individuos de aproximadamente 100 años de edad. Los niveles de error observados, no conllevaría a grandes diferencias en las estimaciones de los ritmos de crecimiento. Si bien la variabilidad interanual en el crecimiento no es exacta la tendencia de largo plazo no resultaría seriamente afectada por errores de este nivel. Por lo tanto, esta información puede considerarse válida para la estimación de los diámetros óptimos de corte (DOC), los turnos biológicos de corte (TBC) y los ciclos de corte (CC) a desarrollarse en los próximos capítulos de la presente tesis doctoral.

En la Figura 2.24 se representan gráficamente los caracteres dominantes tanto en el arreglo de los elementos leñosos que definen los anillos de crecimiento, como las principales características dendrocronológicas observadas en las 11 especies analizadas. Un 70% de las bandas de crecimiento están delimitadas por tejido parenquimático terminal, mientras que los arreglos de fibras y vasos son mucho menos importantes como elementos de delimitación de los anillos (Fig. 2.24).

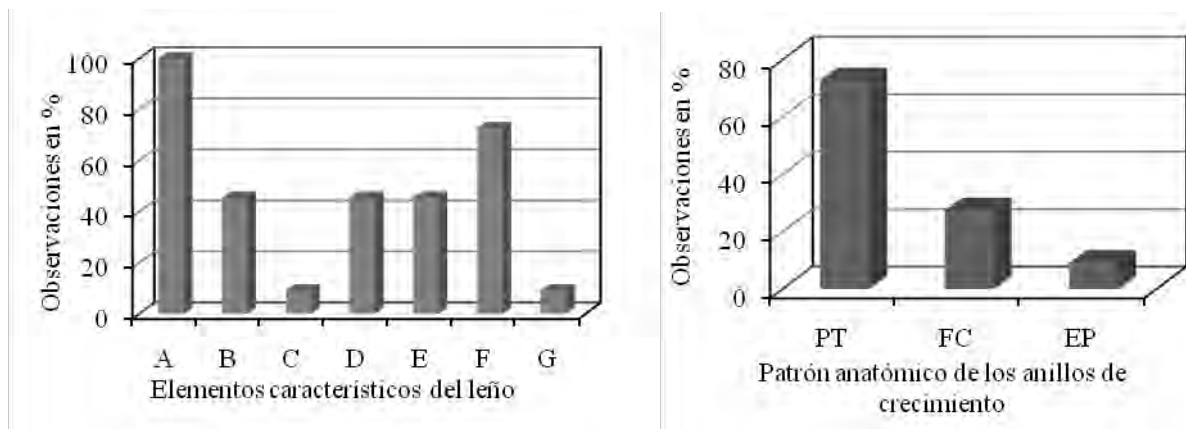


Figura 2.24. Porcentaje de elementos característicos observados en el leño de las especies en estudio (izquierda) y patrón anatómico de los anillos de crecimiento (derecha). A, especies con bandas visibles; B, presencia de lentes de crecimiento; C, Falsos anillos; D, Leño comprimido en paquetes; E, Uniformidad circular; F, bandas anuales de crecimiento y G, patrón común en el ancho de los anillos de crecimiento; PT, Parénquima marginal; FC, Fibras comprimidas y EP, Elementos porosos.

Es decir que en la mayoría de las especies en estudio, sus bandas de crecimiento estuvieron definidas por tejido parenquimático marginal. En muy poca proporción, el achatamiento de fibras con paredes gruesas ubicadas al final de cada periodo de crecimiento y la ocurrencia de porosidad semi-circular a circular permitió la delimitación de los anillos.

Sólo en *C. microchaete* se pudo determinar en todos sus ejemplares un patrón común en el ancho de sus anillos entre radios de una misma sección transversal. Algo más del 40% de las especies mostraron lentes y otro tanto presentó paquetes de anillos finos o leño comprimido (Fig. 2.24).

## 5.2. Características dendrocronológicas de las especies en estudio

Si bien fue posible encontrar un patrón común de crecimiento en el ancho de los anillos entre árboles de *C. microchaete*, *A. cearensis*, *A. colubrina*, *C. fissilis*, *F. boliviana* y *P. ulei*, posiblemente la incorporación de más individuos permita reforzar en número y en tiempo la señal común ya encontrada. Entre las especies mencionadas, particularmente *C. microchaete*, poseen una alta uniformidad circular, aspecto fundamental que permite tener una buena correlación entre series de un mismo árbol y entre árboles de un mismo sitio. Los anillos de crecimiento de *C. microchaete* a lo largo de sus circunferencias presentaron patrones consistentes de sus espesores de manera tal que si un anillo fue angosto en un sector, en el otro extremo del fuste el mismo tuvo un aspecto similar. En cambio, en las demás especies, esa uniformidad circular no siempre estuvo presente, la mayor limitante para incluir más individuos a las series promedio. En muchas especies *A. cearensis*, *A. colubrina*, *C. microchaete*, *F. boliviana* y *P. ulei*, esta característica estuvo alterada por aspectos anatómicos propios de cada especie. En algunas especies fue común observar que las bandas fueron interrumpidas por elementos parenquimáticos o simplemente por la gran abundancia de poros presentes en el leño.

Probablemente otra de las características más comunes en especies tropicales que conducen a la alta variabilidad en el ancho de los anillos entre radios, es la extrema excentricidad del fuste. En las especies que presentaron lentes de crecimiento como *C. ianeirensis*, *M. scleroxylon*, y *H. courbaril*, el cofechado no fue posible entre radios. Al parecer las lentes de

crecimiento actúan como cuñas dentro del fuste que aumenta el ancho de las bandas hasta tres veces mayor que en los anillos completos.

A pesar de que solo en menos del 10% de las especies estudiadas se ha observado un patrón común en el ancho de sus anillos, el fechado del material restante luego de una correcta identificación de los falsos anillos y lentes de crecimiento, provee una estimación bastante acertada de los ritmos pasados y presentes de crecimiento de estas especies. Esta información es vital para evaluar el manejo forestal brindando una serie de pautas muy útiles para el uso sostenible de los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano.

## 6. Referencias

- ALVIM, P. T., and R. ALVIM. 1978. Relation of climate to growth periodicity in tropical trees. Pp. 445-468. En: Tomlinson, P.B. & M.H. Zimmermann (eds.) *Tropical Trees as Living Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- BORCHERT, R. 1999. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. *IAWA* 20: 239-247.
- BORCHERT, R., and G. RIVERA. 2001. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem-succulent trees. *Tree Physiology* 21: 213-221.
- BORMANN, F. H., and G. BERLYN. 1981. Age and growth rate of tropical trees: new directions for research. New Haven: Yale University: School of Forestry and Environmental Studies Bulletin No. 94.
- BRIENEN, R. J. W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. PROMAB Scientific Series 10: PROMAB-Riberalta, Bolivia.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1-12.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006a. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Ecology* 94: 481-493.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006b. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226: 256-267.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 302-306.
- CARLQUIST, S. 1988. Comparative wood anatomy, systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledonous wood. Springer-Verlag, New York.
- CHAMBERS, J. Q., and S. E. TRUMORE. 1999. An age-old problem. *Trends Plant Sci* 4: 385.
- CLARK, D. A., and D. B. CLARK. 1992. Life-history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain-forest. *Ecological Monographs* . 62 315-344.
- COOK, R. E., and R. L. HOLMES. 1999. Users Manual for Program Arstan. Laboratory Of Tree-Ring Research, University Of Arizona Tucson, Arizona, USA.
- COSTER, C. 1927. Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresbildung in den Tropen. *Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg* 37: 49-160.
- CRONQUIST, A. 1988. The evolution and classification of flowering plants. The New York Botanical Garden NewYork-USA.
- DA FONSECA, S. F., M. T. F. PIEDADE, and J. SCHÖNGART. 2009. Wood growth of *Tabebuia barbata* (E. Mey.) Sandwilt (Bignoniaceae) and *Vatairea guianensis* Aubl. (Fabaceae) en Central Amazonian black-water (igapo) and white-water (varzea) floodplain forests. *Trees-Structure and Function* 23: 127-134.
- DEZZEO, N., M. WORBES, I. ISHII, and R. HERRERA. 2003. Annual tree rings revealed by radiocarbon dating in seasonally flooded forest of the Mapiro River, a tributary of the lower Orinoco River, Venezuela. *Plant Ecology* 168: 165-175.

- DUNISCH, O., and L. GASPAROTTO. 2003. Formation of increment zones and intra-annual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* y *Cedrela Odorata* (Meliaceae) IAWA 23: 244-250.
- FAHN A., J., K. BURLEY, A. LONGMAN, A. MARIAUX, and P. B. TOMLINSON. 1891. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. In: Bormann F.H. & G. Berlyn (eds.). 1981. Age and growth rate of tropical trees; new directions for research, Bull. No° 94, 31-54. Yale University, New Haven.
- FAO. 2009. Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 159.
- FREDERICKSEN, T. S., and M. J. JUSTINIANO. 1998. Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas - Sirari *Copaifera chodatiana*, Hassl. Caesalpinaceae. BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- FRITTS, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London.
- FRITTS, H. C., A. SHASHKIN, and G. M. DWONES. 1999. A simulation model of conifer ring growth and cell structure. In: R. Wimmer and R.E. Vetter (eds.). Tree-Ring Analysis Biological, Methodological and Environmental Aspects. the British Library. London, UK.
- GRAU, A., M. A. ZAPATER, and R. A. NEUMAN. 2006. Botánica y distribución del género de *Cedrela* en el noroeste de Argentina 19-30p. En S. Pacheco y A. Bruwn (Eds.). Ecología y producción de cedro (género *Cedrela*) en las Yungas australes, Subtrópico. Tucumán, Argentina.
- HOLMES, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin 43: 69-78.
- ITTO. 1996. Manual de Identificación de Especies Forestales de la Subregión Andina, IANIA-OIMT. Grupo Stella Lima Perú: 489.
- ITTO. 2007. Annual review and assessment of the world timber situation  
Yokohama, Japan. <http://worldforestry.blogspot.com/2008/06/annual-review-and-assessment-of-world.html>.
- JACOBY, G. C. 1989. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. IAWA 10.
- JARDIM, A., T. J. KILLEEN, and A. FUENTES. 2003. Guía de los Árboles y Arbustos del Bosque Seco Chiquitano Bolivia, Fundación para la conservación del Bosques Chiquitanos. (FCBC), FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: 324.
- JUSTINIANO, M. J., and T. S. FREDERICKSEN. 1998a. Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas - Morado *Machaerium scleroxylon* Tul, Fabaceae. BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- JUSTINIANO, M. J., and T. S. FREDERICKSEN. 1998b. Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas - Tarara Amarilla *Centrolobium microchaete*, Papilionoideae. BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- JUSTINIANO, M. J., and T. S. FREDERICKSEN. 1999. Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas - Yesquero Blanco *Cariniana ianeirensis* R. Knuth, Lecythidaceae. BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- KAENNEL, M., and F. H. SCHWEINGRUBER. 1995. Multilingual glossary of dendrochronology. Terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian. Birmensdorf; Berne, Stuttgart, Vienna, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt 467.
- KILLEEN, J. T., E. GARCIA, and G. S. BERCK. 1993. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. Quipus S.R.L., La Paz, Bolivia.
- LAURANCE, W. F., H. E. M. NASCIMENTO, S. G. LAURANCE, R. CONDIT, S. D'ANGELO, and A. ANDRADE. 2004. Inferred longevity of Amazonian rainforest trees based on a long-term demographic study. Forest Ecology and Management 190: 131-143.
- LIEBERMAN, M., and D. LIEBERMAN. 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. Ecology 66: 632-635.
- LÓPEZ, L. 2003. Estudio de anillos de crecimiento en once especies forestales de Santa Cruz-Bolivia. U. A. G. R. M., proyecto BOLFOR: 147.
- LÓPEZ, L., and R. VILLALBA. 2010. Climate Influences on the Radial Growth of *Centrolobium microchaete*, a Valuable Timber Species from the Tropical Dry Forests in Bolivia. Biotropica 43: 41-49.
- LÓPEZ, L., R. VILLALBA, and M. PEÑA-CLAROS. 2009. Relación entre el crecimiento de *Centrolobium microchaete* y las variables climáticas en bosques tropicales de Bolivia. Actas del Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina: 176.
- MARTINEZ-RAMOS, M., and E. R. ALVAREZ-BUYLLA. 1998. How old are tropical rain forest trees? Trends Plant Sci 3: 400-405.
- MOSTACEDO, B., M. J. JUSTINIANO, M. TOLEDO, and T. FREDERICKSEN. 2003. Guía Dendrológica de Especies Forestales en Bolivia. El país 2da edición. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.

- ROIG, F. 2000. Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. En: Dendrocronología en América Latina. F. Roig (ed.), EDIUNC, Mendoza.
- SCHÖNGART, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* 256: 46-58.
- SCHÖNGART, J., M. T. F. PIEDADE, S. LUDWIGSHAUSEN, V. HORNA, and M. WORBES. 2002. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Tropical Ecology* 18: 581-597.
- SCHÖNGART, J., F. WITTMANN, M. WORBES, M. PIEDADE, H. KRAMBECK, and W. JUNK. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* 64: 657-664.
- SCHULMAN, E. 1956. Dendroclimatic Changes in Semiarid America. University of Arizona Press, Tucson , AZ , USA
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1988. Tree ring. Basics and applications. Dordrecht, reidel 276.
- STOKES, M. A., and T. L. SMILEY. 1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago.
- VILLALBA, R. 1987. El árbol ante el clima y los años. Series científica 35: 44-47.
- WHITMORE, T. C. 1998. An introduction to tropical rain forests. Oxford University Press, New York.
- WORBES, M. 1992. Occurrence of seasonal climate and tree-ring research in the tropics. . Lund Qua Report 34: 338-342.
- WORBES, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics- a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia* 20: 217-231.
- WORBES, M., and W. JUNK. 1999. How old are tropical trees? The persistence of a myth. *IAWA* 20: 255-260.

## CAPITULO III

---

### CRECIMIENTO RADIAL DE ESPECIES FORESTALES DEL CERRADO BOLIVIANO



#### Tabla de contenidos

---

1. Introducción.....	69
2. Materiales y métodos.....	71
3. Resultados.....	75
3.1. Crecimiento diamétrico de las 11 especies forestal en estudio.....	75
4. Tasas de crecimiento diamétrico de las 11 especies en estudio.....	109
5. Discusión y conclusiones.....	112
7. Referencias.....	118

## Resumen

Este capítulo describe los métodos empleados para establecer las tasas de crecimiento e incremento anual de las especies descritas en los capítulos anteriores, tomando como base su crecimiento diamétrico. Posteriormente se hace una comparación entre los valores detectados por este estudio con aquellos derivados de mediciones realizadas en parcelas permanentes localizadas en otros sitios de la misma provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. A través de la metodología empleada, se observa que las tasas de crecimiento encontrados no son consistentes con los paradigmas y supuestos generales vigentes para el manejo de los bosques tropicales de la región. Estos resultados tienen importantes implicancias ya que demuestran científicamente que las actuales pautas de manejo no conducen a la sustentabilidad del recurso en el largo plazo.

### 1. Introducción

En los bosques tropicales y subtropicales de América del sur existe una alta diversidad de especies maderables que proveen significantes volúmenes de madera en diferentes procesos a los mercados internos como externos sin embargo, a pesar de los avances logrados y de los medios tecnológicos disponibles, que fácilmente podrían ser empleados para promover el aprovechamiento integral y manejo racional de los bosques, la mayoría de las especies son aprovechadas sin tener un conocimiento previo sobre sus ritmos de crecimiento que pueden alcanzar en una determinada región. La determinación de la estructura de edades y la dinámica de un bosque es información básica para establecer pautas de manejo sostenible. Esta actividad precisamente requieren del fechado de la madera así como también de la evaluación de los ritmos pasados y presentes del crecimiento (Villalba *et al.* 2006). Contar con esta información no solo es válido para determinar los ciclos de rotación forestal, establecer las relaciones entre el crecimiento radial y el clima (Fritts 1976), sino también para evaluar la respuesta del bosque a la intervención humana o simplemente a una práctica silvicultural (Brienen & Zuidema 2005, Peña-Claros *et al.* 2008).

Actualmente, las pautas que definen los planes de manejo forestal, en las regiones tropicales, están basadas en estimaciones teóricas o de corto plazo que no han sido constatadas en el campo por largos períodos de tiempo. Uno de los métodos más aplicados para lograr información necesaria para establecer los planes de manejo forestal consiste en el

establecimiento de parcelas permanentes con una evaluación periódica (generalmente anual) del crecimiento de los árboles incluidos en la misma (Contreras *et al.* 1999, Dauber *et al.* 2005). Si bien esta metodología es altamente precisa, su aplicación requiere mucho tiempo y esfuerzo, obteniéndose los primeros resultados consistentes después del seguimiento de las parcelas de estudio por muchos años, inclusive décadas (Lieberman & Lieberman 1985, Brien & Zuidema 2005).

Después de la promulgación de la Ley Forestal 1700 en Bolivia en el año 1996 (MDSMA 1997), se realizaron algunos avances significativos en el sector forestal mediante la implementación de una Red Nacional de Parcelas Permanentes destinadas a evaluar el crecimiento de los árboles tropicales en forma periódica. Sin embargo, los resultados logrados hasta el presente tienen que considerarse con precaución dado el reducido tiempo de monitoreo (inferior a 10 años) y al escaso número de parcelas para cubrir la enorme diversidad de especies y ambientes de los bosques tropicales Bolivianos.

La determinación de los anillos de crecimiento de los árboles y la medición de los mismos se ve como una alternativa práctica y económica para cuantificar en forma precisa la velocidad de crecimiento de una masa forestal (Dunisch & Gasparotto 2003, Brien & Zuidema 2006a, Brien & Zuidema 2006b, Villalba *et al.* 2006, Schöngart 2008).

En las regiones tropicales de la Amazonía Boliviana, los anillos de crecimiento han sido empleados para establecer la edad de los árboles (Worbes & Junk 1999, Brien *et al.* 2006), determinar los ritmos de crecimiento de especies maderables (Brien 2005, Brien & Zuidema 2006b) y estimar los turnos de corte de 5 especies de la región (Brien & Zuidema 2006a, Brien & Zuidema 2006b, Brien & Zuidema 2007).

En la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano, los primeros estudios para determinar las tasas de crecimiento de las especies forestales fueron realizados por López (2003). Los resultados preliminares de dichos estudios mostraron una alta consistencia con los datos obtenidos a través de mediciones realizadas en parcelas permanentes por Dauber *et al.* (2005). Ambos estudios concluyen que los actuales ritmos de crecimiento que poseen las especies forestales no son consistentes con los empleados teóricamente para definir las pautas de manejo forestal en Bolivia (Brien & Zuidema 2005, Brien & Zuidema 2006a, Brien & Zuidema 2006b, López *et al.* 2009). Así mismo justifican la necesidad de establecer mecanismos válidos



destinados al uso racional y la conservación de los bosques nativos en función a datos precisos obtenidos a corto plazo.

En base a los resultados presentados en el capítulo II y empleando las mediciones del ancho de los anillos de crecimiento, el objetivo del presente capítulo es determinar las tasas de crecimiento diamétrico de 11 especies maderables del bosque tropical del Cerrado Boliviano. Como los muestreos de campo fueron realizados en dos distritos dentro de la formación Chiquitana y sus áreas de transición, el presente análisis permitirá establecer si existen diferencias en los ritmos de crecimiento de los árboles creciendo en los distritos Chiquitano y de Guarayos dentro la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano.

## 2. Materiales y métodos

Los bosques estudiados se ubican en los distritos biogeográficos de Chiquitos y Guarayos, ambos de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano en el departamento de Santa Cruz (Navarro & Maldonado 2004). Los sitios de muestro han sido descritos detalladamente en el capítulo I de la presente tesis doctoral.

En las áreas anuales de aprovechamiento forestal de los bosques nativos manejados se colectaron secciones transversales de 11 especies maderables. Las especies colectadas se listan en la Tabla 3.1. En la actualidad, todas estas especies son de uso maderable y proveen grandes volúmenes de madera tanto al mercado nacional como internacional, por lo que representan importantes ingresos económicos a la región y al país (Bojanic 2002).

La mayoría de los árboles colectados pertenecen al dosel superior con fustes de buenas características morfológicas (recto, sano, sin lianas). Estos árboles se encuentran dentro de las categorías de copa 1 y 2 y de fuste con calidad 1 y 2 según Dauber *et al.* (2005).

Los muestreos del material leñoso fueron realizados en áreas de aprovechamiento forestal de Concesiones Forestales y en Tierras Comunitarias de Origen (TCO). Las áreas Inpa–Concepción y Guarayos–La Chonta, pertenecen a la categoría de Concesiones Forestales, mientras que la comunidad de Santa Mónica a las de Manejo Comunal y la de Makanaté a las de Manejo Intercomunal. Ambas comunidades pertenecen a la TCO Monte Verde.

Finalmente, los aprovechamientos forestales en las comunidades de Santa Anita y Zapocó forman parte del manejo comunal de las TCOs San Antonio de Lomerío y Zapocó,

respectivamente. También es importante mencionar que los sitios de muestreo Guarayos–La Chonta, Concepción y Santa Mónica, poseen la totalidad de sus superficies manejadas con bosques certificados internacionalmente y monitoreados por Forest Stewardship Council, (FSC). En ambas comunidades el principal producto forestal a explotar es madera.

Tabla 3.1. Número de árboles maderables por especies incluidos en el presente estudio y sus respectivos rangos dimétricos medios, tomados a la altura de las secciones transversales estudiadas.

Especies de estudio	DAP de campo (cm)		Sitio y número de árboles		
	Promedio	Rango	Concepción	Santa Anita	Guarayos
<i>Amburana cearensis</i>	55,1	44–70		18	
<i>Anadenanthera colubrina</i>	52,5	42–52	31		
<i>Cariniana ianeirensis</i>	90,8	77–101			9
<i>Cedrela fissilis</i>	52,8	36–64		20	
<i>Copaifera chodatiana</i>	55,6	45–80	12		
<i>Ficus boliviana</i>	95,2	43–121			9
<i>Hymenaea courbaril</i>	76,8	45–88			14
<i>Machaerium scleroxylon</i>	47,3	42–62	9		
<i>Platimiscium ulei</i>	44,2	35–54		20	
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	40,1	35–45	12		

En estos sitios se colectaron secciones transversales de todos los árboles que estaban siendo aprovechados. La metodología empleada para este fin fue descrita en el Capítulo II. El número de árboles muestreados corresponde a la intensidad de aprovechamiento de cada especie en cada sitio de muestreo. Los rangos diamétricos (DAP) de los árboles cortados sobrepasan los diámetros mínimos de corta (DMC) establecidos por la Ley Forestal de Bolivia (> 40 cm). Sin embargo, los diámetros de muestreo muestran una alta variabilidad, incluyendo diámetros menores a los 40 cm (Tabla 3.1).

Como las muestras fueron tomadas en los extremos de la troza más baja del fuste (generalmente de 3,5 m de largo), en la mayoría de los árboles el diámetro de la sección muestreada fue mayor o menor al DAP dependiendo si la rodaja provenía del extremo inferior o superior de la troza, respectivamente.

Tabla 3.2. Ciclos de corte (CC) y diámetros mínimos de corte (DMC) establecidos para los distritos biogeográficos Chiquitos y Guarayos, ambos pertenecientes a la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano, por la Ley Forestal 1700 de Bolivia.

Distritos biogeográficos	CC	DMC
Chiquitos	25	40
Guarayos (trancisión Chiquitano–Amazonico)	25	50

En la Tabla 3.2, se presentan algunas consideraciones que regulan los planes de manejo forestal establecidos para los dos distritos biogeográficos Chiquitos y Guarayos. Entre los más importantes los ciclos de corte (CC) y los diámetros mínimos de corte (DMC). Entre las especies con mayor presencia y abundancia en aéreas de aprovechamiento de las seis localidades de estudio se encuentra *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla). Por ello, el número de árboles incluidos por localidad, como sus rangos diámetros son presentados por separado en la Tabla 3.3, Así mismo los valores de sus crecimientos e incrementos para esta especie serán tratados en forma separada a lo largo del siguiente capítulo.

Tabla 3.3. Número de árboles de *Centrolobium microchaete* por sitios de muestreo y sus respectivos rangos diamétricos tomados antes del apeo(DAP)

Sitio	No. de árboles muestreados	Diámetro medio	Rango DAP
Concepción	29	58,0	41–90
Santa Mónica	38	48,7	43–80
Santa Anita	31	47,3	41–70
Zapocó	23	42,1	*35–55
Makanaté	26	52,0	44–65
Guarayos–LC	24	49,1	*28–82

\*DAP perteneciente a árboles caídos naturalmente y que fueron muestreados con el propósito de aumentar el número de individuos analizados.

En base a los valores obtenidos a partir de la medición del ancho de los anillos de crecimiento (capítulo II), se procedió a la construcción de las curvas de crecimiento diamétrico empleando el programa AGE. Este programa, que forma parte de la Librería de Programas para Dendrocronología (DPL, Holmes 1983), estima los incrementos diamétricos corriente anual

(ICA) y los incrementos medio anual (IMA) para cada serie en particular y brinda además un promedio de todas las series para cada especie en cada sitio (Holmes 1983).

Con el propósito de reducir la variabilidad interanual en las estimaciones del IMA, los valores interanuales fueron suavizados mediante el uso de un filtro digital spline de 15 años (Cook & Peters 1981).

El crecimiento diamétrico acumulado para cada árbol resulta de la sumatoria del ancho de sus anillos de crecimiento. El crecimiento acumulado en el año  $i$  resulta de la sumatoria del crecimiento desde el año 1 hasta el año  $i$ . Por lo tanto, el crecimiento acumulado (CA) al año  $t$  se expresa de la siguiente manera:

$$CA_t = \sum_{t=1}^{t=i} a_1 + a_2 + \dots + a_i$$

Donde  $a_1$  es el ancho del primer anillo de crecimiento,  $a_2$  el del segundo anillo y  $a_i$  el ancho del anillo formado al año  $i$ .

El Incremento diamétrico Corriente Anual (ICA) corresponde al incremento diamétrico del árbol para un año determinado año ( $a_t$ ). El ICA se calcula restando el crecimiento acumulado correspondiente al año  $t$  menos el correspondiente al año anterior  $t-1$ .

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

El Incremento Medio Anual (IMA) resulta de dividir el Crecimiento Acumulado (CA) para el año  $t$  por  $t$  años.

$$IMA = CA_t / t$$

Los incrementos diamétricos acumulados, corrientes y medios resultan de promediar los valores radiales correspondientes a dos radios (por lo general opuestos) dentro de una misma sección transversal. En definitiva los valores del crecimiento e incremento diamétrico es el resultado del promedio obtenido sobre el número de mediciones radiales realizados en un árbol. Las curvas correspondientes a los incrementos medios, máximos y mínimos por especie y por sitio fueron graficadas para determinar las tendencias biológicas del crecimiento diamétrico en el tiempo. Estos gráficos son también útiles para establecer los periodos de crecimiento óptimo para cada especie en particular (Boninsegna *et al.* 1989, Brienens & Zuidema 2006a). Finalmente se compararon los incrementos anuales entre especies en un

mismo sitio y entre árboles de una misma especie creciendo en sitios diferentes. Las diferencias de crecimiento fueron evaluadas durante periodos comunes en los cuales el número de individuos fue el más elevado posible en base al número total de individuos colectados.

Las curvas que representan el crecimiento diamétrico acumulado por especie para un sitio determinado fueron calculadas promediando los crecimientos individuales considerando la edad biológica de cada serie y no su fecha calendario. Para ello e independiente de la fecha calendario, se asignó al anillo central (en contacto con la médula) en cada sección transversal el año  $t = 1$ . De esta forma, el crecimiento diamétrico medio acumulado resulta de promediar todos los crecimientos acumulados en base a la edad biológica de cada serie. En forma similar, el crecimiento diamétrico corriente medio se obtuvo promediando los valores provenientes de cada uno de los individuos teniendo en cuenta la edad biológica de cada muestra.

### 3. Resultados

#### 3.1. Crecimiento diamétrico de las 11 especies forestales en estudio

##### *Amburana cearensis*

La Figura 3.1 representa el crecimiento acumulado medio y los crecimientos acumulados de 18 árboles de *A. cearensis* (roble) colectados en la Comunidad de Santa Anita, distrito biogeográfico Chiquitano, Bolivia. Aunque algunos de los individuos muestreados superan los 120 años de edad, todos los árboles alcanzan al menos 76 años. Se observa una leve variabilidad en los ritmos de crecimiento los que varían entre 25 y 58 cm para una edad de 76 años (Fig. 3.1). En este caso particular, los árboles de rápido crecimiento pueden alcanzar diámetros de 40 cm entre los 40 y 60 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento requieren edades superiores a 100 años para alcanzar los 40 cm de diámetro (Fig. 3.1).

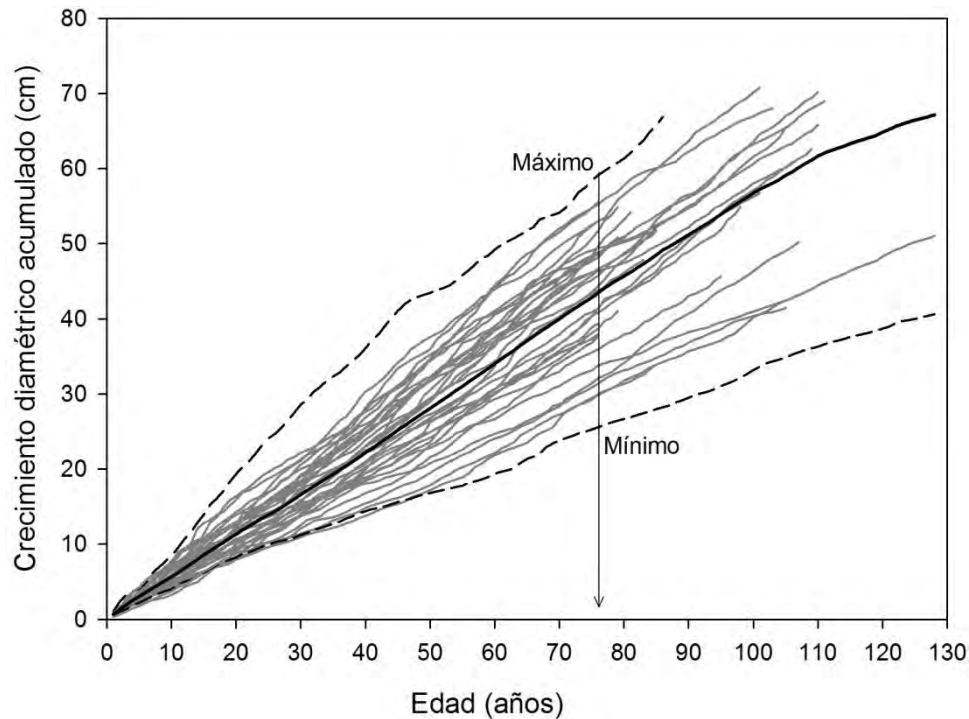


Figura 3.1. Crecimiento diamétrico acumulado de 18 árboles de *Amburana cearensis* (roble) basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises delgadas corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea gruesa negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 76 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

En la Figura 3.2 se grafican las curvas del incremento diamétrico medio (IMA), máximo y mínimo anual de los 18 árboles de *A. cearensis*, las que brindan una idea más clara sobre las variaciones del crecimiento en el tiempo analizado. Los incrementos diamétricos medios anuales durante los primeros años de crecimiento son relativamente altos, mostrando valores entre 0,7 y 0,8 cm por año y se mantienen relativamente estables hasta los 80 años. A partir de ese momento se observa una disminución en la velocidad de crecimiento radial. Sin embargo, como el número de árboles involucrados decrece marcadamente luego de los 80 anillos, resulta muy difícil establecer si esa disminución es producto de la tendencia biológica del crecimiento de los árboles o de la disminución en el número de individuos considerados.

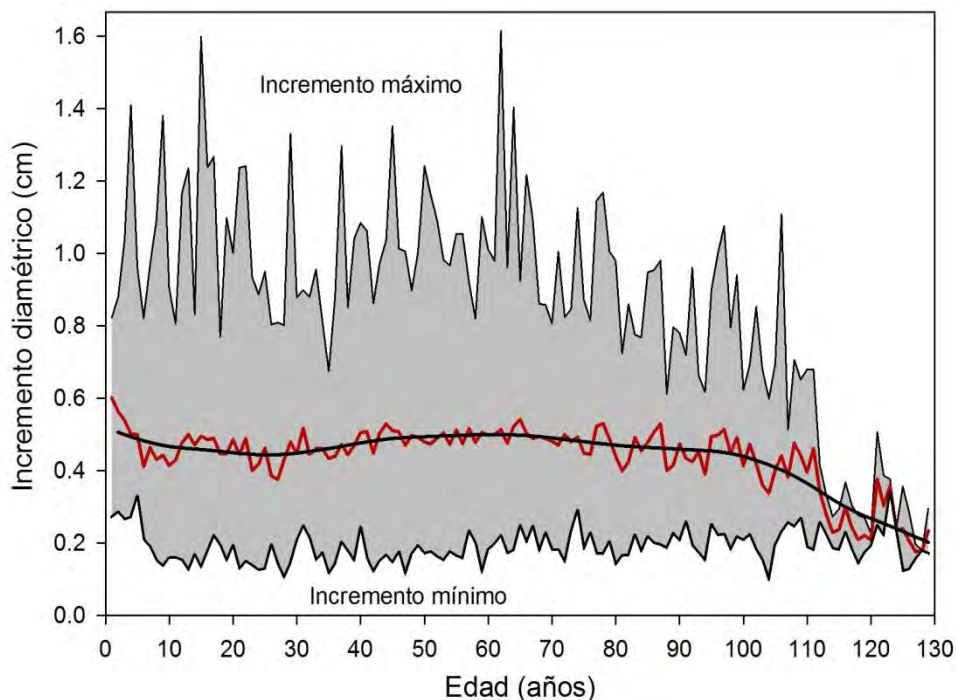


Figura 3.2. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superior e inferior muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 18 árboles de *Amburana cearensis* (Roble) en la localidad de Santa Anita, distrito Chiquitano Boliviano. Los valores de incremento medio anual han sido graficados en línea roja. En línea negra se grafica el IMA suavizado usando una función spline de 15 años.

El incremento diamétrico anual máximo presenta importantes fluctuaciones interanuales.

Durante los primeros 60–70 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 1,6 y 0,8 cm/año. A partir de los 70–80 años se registra una marcada reducción del crecimiento con valores máximos cercanos a los 0,5 cm/año para edades superiores a los 110 años. Por el contrario, el incremento mínimo anual es más estable y oscila alrededor de los 0,2–0,3 cm/año.

Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *A. cearensis* tiene una importante tasa de crecimiento dentro del distrito biogeográfico Chiquitano. Si bien el crecimiento medio para el periodo de 130 años registrado fue de 0,52 cm/año, durante los primeros 100 años fue cercano a 0,75 cm/año.

### *Anadenanthera colubrina*

En la Figura 3.3 se grafican las variaciones del crecimiento medio acumulado y los crecimientos individuales acumulados de los 31 ejemplares de *A. colubrina* (curupaú en



Bolivia, *cebil* en Argentina), colectados en la Localidad de Concepción, distrito biogeográfico Chiquitano.

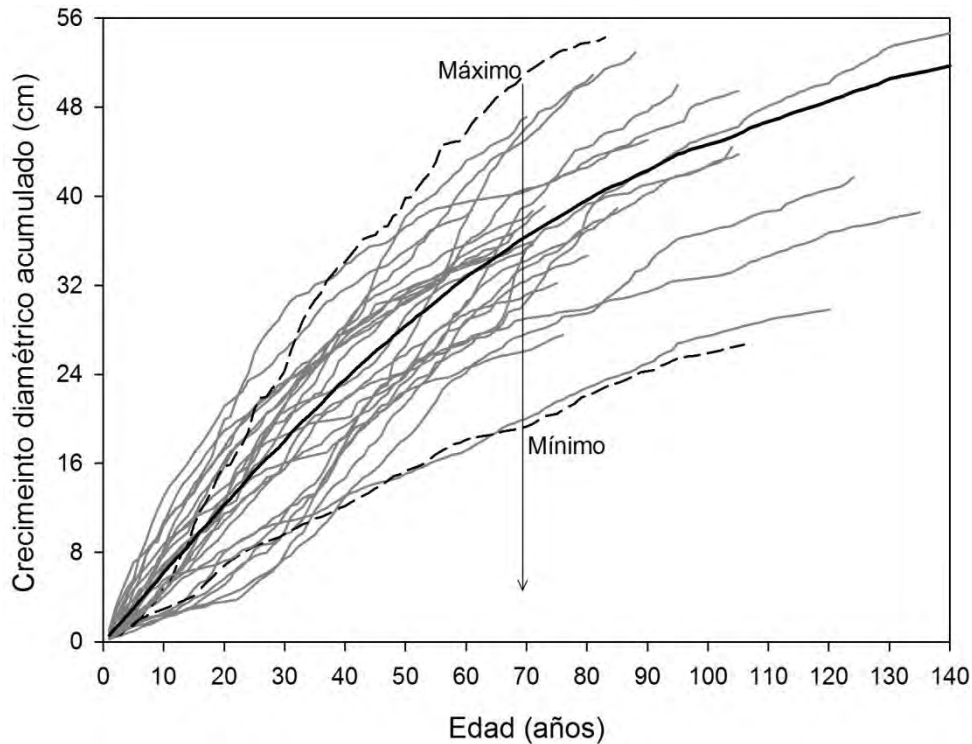


Figura 3.3. Crecimiento diámetro acumulado de 31 árboles de *Anadenanthera colubrina* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diámetro acumulado medio. Los árboles con las velocidades medias mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 70 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

Algunos de los individuos muestreados superan los 140 años de edad y todos los árboles alcanzan al menos 70 años. Se observa una gran variabilidad en los ritmos de crecimiento los que varían entre 18 y 51 cm para una edad de 70 años (Fig. 3.3). Considerando que el diámetro mínimo de corte establecido para esta especie en Bolivia es de 40 cm, podemos notar que los árboles de rápido crecimiento pueden alcanzar estos valores entre los 50 y 80 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento tardan más de 100 años para alcanzar los 40 cm de diámetro (Fig. 3.3).

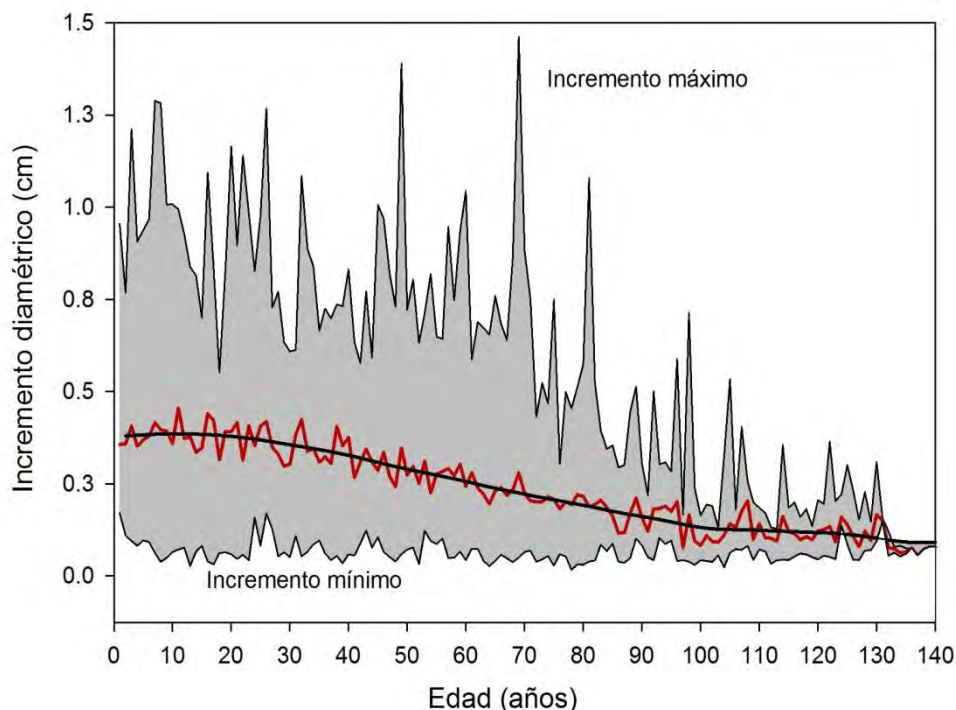


Figura 3.4. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superior e inferior muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 31 árboles de *Anadenanthera colubrina* en la localidad de Concepción, distrito biogeográfico Chiquitano Boliviano. En rojo se grafica el IMA y en negro el IMA suavizado usando una función spline de 15 años.

En la Figura 3.4 están representadas gráficamente las curvas del incremento diamétrico medio (IMA), máximo y mínimo anual de los 31 árboles muestreados de *A. colubrina*. Los incrementos medios anuales durante los primeros años de crecimiento son relativamente altos, mostrando valores medios alrededor de 0,41 cm por año que se mantienen relativamente estables hasta los 40 años. A partir de ese momento se observa una disminución en la velocidad de crecimiento diamétrico, alcanzando 0,3 cm/año a los 70 años. Dado que la replicación de muestras es alta hasta los 70–80 años, consideramos que la reducción en la velocidad de crecimiento luego de los 40 años es real y no se encuentra relacionada con un cambio en el número de árboles analizados.

El incremento diamétrico anual máximo presenta enormes fluctuaciones interanuales. Durante los primeros 50–70 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 1,2 y 1,4 cm/año. A partir de los 80 años se registra una marcada reducción del crecimiento con valores máximos cercanos a los 0,5

cm/año para edades superiores a los 100 años. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,2–0,1 cm/año.

Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *A. colubrina* tiene una tasa de crecimiento significativa dada la alta densidad de su madera. Si bien el valor medio para los 140 años de registro es de 0,36 cm/año, es superior a los 0,70 cm/año durante los primeros 50 años de crecimiento (Fig. 3.4).

### ***Cariniana ianeirensis***

En la Figura 3.5 se han graficado tanto el crecimiento acumulado medio como así también los crecimientos acumulados de 9 árboles de *C. ianeirensis* (yesquero blanco), colectados en la localidad de Guarayos–La Chonta, distrito biogeográfico de Guarayos. A pesar de la baja cantidad de ejemplares muestreados, algunos de los individuos superan los 120 años de edad y todos alcanzan al menos 62 años. En comparación con otras especies, se observa poca variabilidad en los ritmos de crecimiento los que varían entre 36 y 58 cm para una edad de 62 años (Fig. 3.5).

Si consideramos el diámetro mínimo de corte de 50 cm establecido por la Ley Forestal de Bolivia para esta especie, los árboles de rápido crecimiento podrían alcanzar este diámetro entre los 40 y 50 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento tardarían entre 70–90 años para alcanzar los 50 cm de diámetro (Fig. 3.5).

En la Figura 3.6 se grafican las curvas de incremento medio (IMA), máximo y mínimo anual de los 9 árboles de *C. ianeirensis*. Los incrementos medios anuales durante los primeros años de crecimiento son relativamente inferiores, mostrando valores entre 0,4 y 0,6 cm por año hasta los 50 años. A partir de ese momento se observa una disminución en la tasa de crecimiento hasta los 85 años, posterior a esta edad muestra valores relativamente superiores. Sin embargo, como el número de árboles involucrados es bajo, luego de los 85 años se observa una marcada reducción en la variabilidad de los valores del incremento diamétrico, esta disminución se debe al escaso número de individuos considerados.

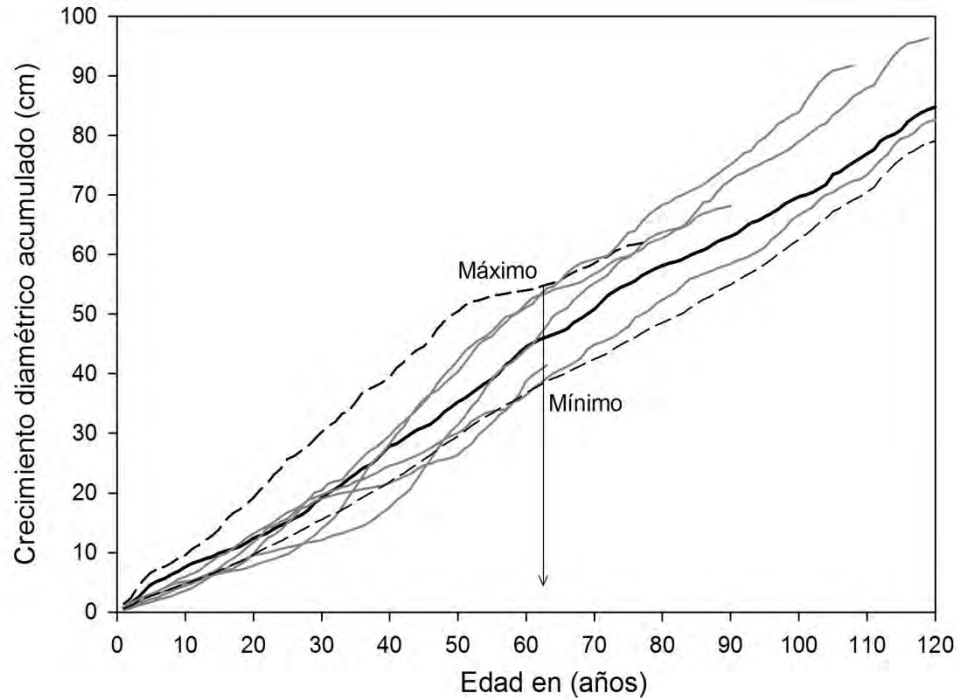


Figura 3.5. Crecimiento diamétrico acumulado de 9 árboles de *Cariniana ianeirensis* basado en la medición de 1 radio por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 62 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

El incremento diamétrico anual máximo presenta una enorme fluctuación interanual. Durante los primeros 50–60 años, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 1,5 y 0,6 cm/año. Entre los 10–15 años se registra una marcada reducción del crecimiento con valores máximos cercanos a los 0,8 cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,2–0,3 cm/año.

Aún cuando las curvas de incremento dan idea más clara sobre las variaciones del crecimiento a través del tiempo, el bajo número de árboles incluidos en éste análisis, no permite realizar inferencias validas sobre el crecimiento de la especie.

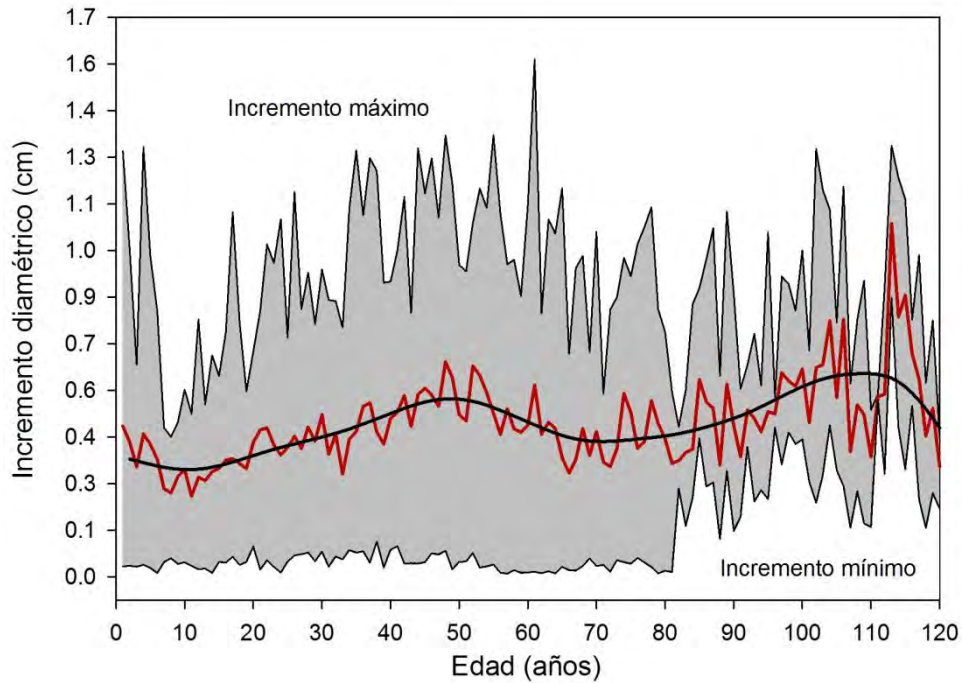


Figura 3.6. Variaciones en el incremento diamétrico de 9 árboles de *Cariniana ianeirensis* en la localidad de Guarayos–la Chonta, distrito biogeográfico de Guarayos. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente. En rojo se grafica el IMA y en negro el IMA suavizado usando una función spline de 15 años.

### *Cedrela fissilis*

El crecimiento acumulado medio y los crecimientos acumulados de 20 árboles de *C. fissilis* (cedro) se muestran en la Figura 3.7. Estos ejemplares fueron colectados en la Comunidad de Santa Anita, distrito biogeográfico Chiquitano. Aunque algunos de los individuos muestreados superan los 140 años de edad, todos los árboles alcanzan al menos 40 años. Los ritmos de crecimiento varían entre 10 y 55 cm para una edad de 40 años (Fig. 3.7). En particular, los árboles de rápido crecimiento pueden alcanzar diámetros de 40 cm entre los 30 y 60 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento tardan entre 60–120 años para alcanzar este diámetro (Fig. 3.7).

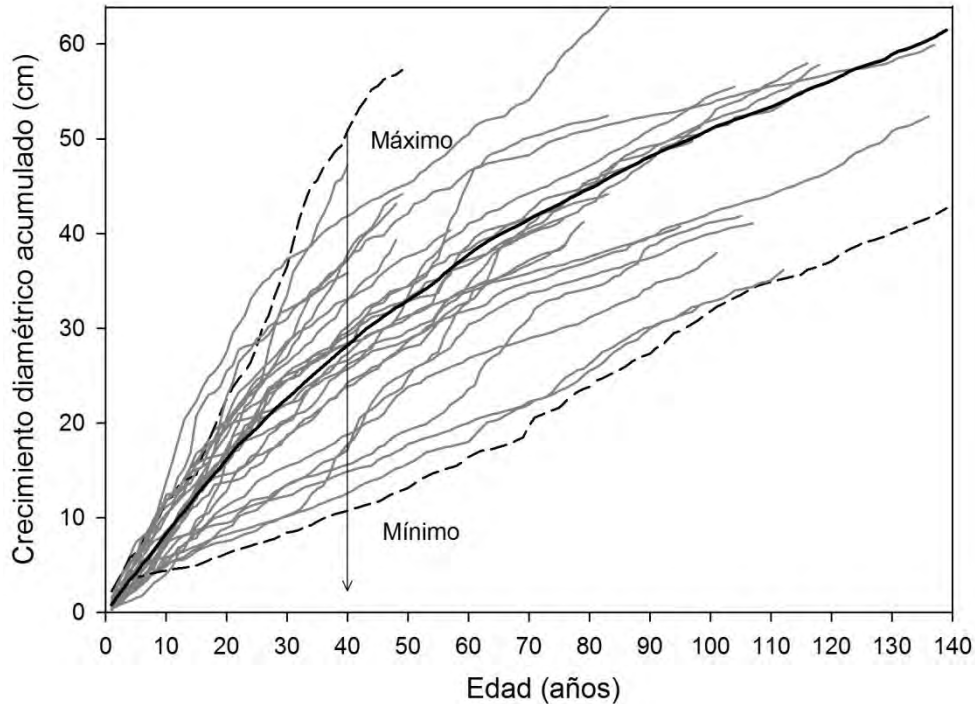


Figura 3.7. Crecimiento diámetro acumulado de 20 árboles de *Cedrela fissilis* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diámetro medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 40 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

En la Figura 3.8, se representan las curvas del incremento diámetro medio, máximo y mínimo anual de los 20 árboles de *C. fissilis*. El incremento medio anual durante los primeros años de crecimiento es relativamente alto, mostrando valores entre 0,4 y 0,5 cm/año. En la figura, se observa una disminución en la velocidad de crecimiento radial con la edad y una estabilización en valores próximos a los 0,3 cm/año alrededor de los 80 años. Sin embargo, como el número de árboles involucrados decrece marcadamente luego de los 80 años, resulta muy difícil establecer si esa estabilización en el crecimiento es producto de la tendencia biológica de los árboles o la disminución de número de individuos considerados.

El incremento diámetro anual máximo presenta enormes fluctuaciones interanuales. Durante los primeros 20 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, con valores que oscilan entre 2,1 y 0,9 cm/año. Por el contrario, y al igual que en la mayoría de las especies estudiadas, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,2–0,1 cm/año.

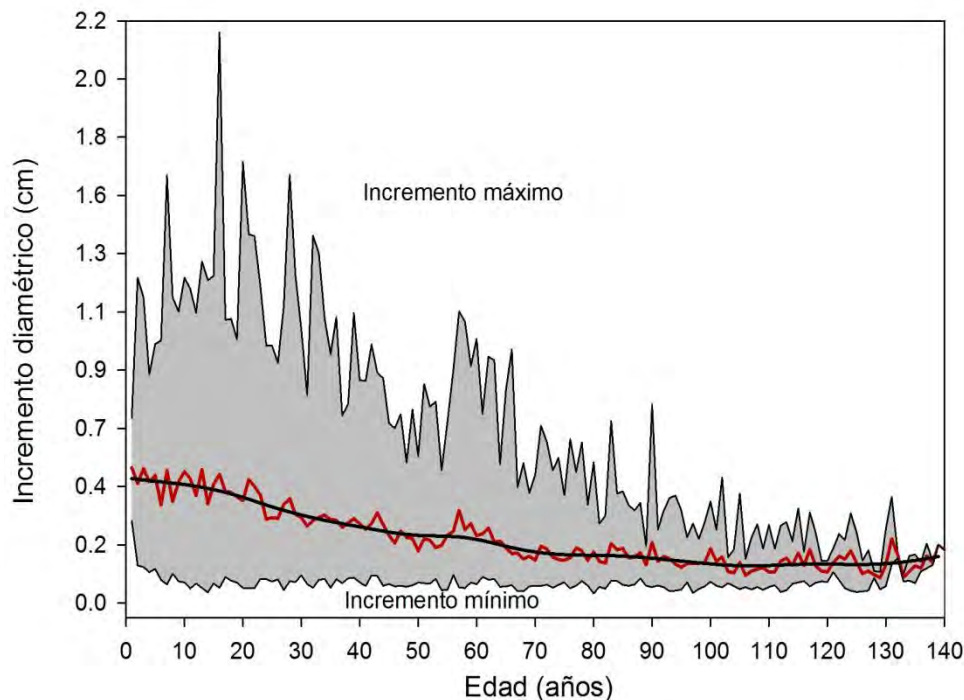


Figura 3.8. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 20 árboles de *Cedrela fissilis* en la localidad de Santa Anita, distrito biogeográfico Chiquitano Boliviano. Los valores de IMA han sido graficados en línea roja mientras que el IMA suavizados en línea negra usando una función spline de 15 años.

Los incrementos diamétricos obtenidos del análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *C. fissilis*, tiene una alta velocidad de crecimiento radial en la región Chiquitana. A lo largo de los 140 años analizados el incremento medio anual fue de 0,44 cm/año, significativamente menor al registrado durante los primeros 20 años ( $> 0,7$  cm/año).

### ***Centrolobium microcheate***

*C. microcheate* (tarara amarilla) se encuentra entre las especies más destacadas en la región Chiquitana Seca de Bolivia tanto por su abundancia como por el gran interés forestal que la especie tiene debido a las características de su madera (Justiniano & Fredericksen 1998). Dado el alto número de empresas forestales dedicadas a la explotación de esta especie, fue posible coleccionar 184 individuos en seis ambientes diferentes del bosque Chiquitano. Por lo tanto, en el caso de *C. microcheate* la evaluación de los ritmos de crecimiento es presentada para cada uno de los sitios de muestreo.



### Concepción

En la Figura 3.9 se grafican los crecimientos acumulados de 35 ejemplares de colectados en la localidad de Concepción, perteneciente al distrito biogeográfico Chiquitano. Algunos de los individuos muestreados superan los 170 años de edad y todos ellos alcanzan al menos 83 años de edad. Si bien se observa cierta variabilidad en el ritmo de crecimiento, esta es comparativamente menor que para las otras especies analizadas. Para una edad de 83 años los diámetros oscilan entre 20 y 40 cm (Fig. 3.9).

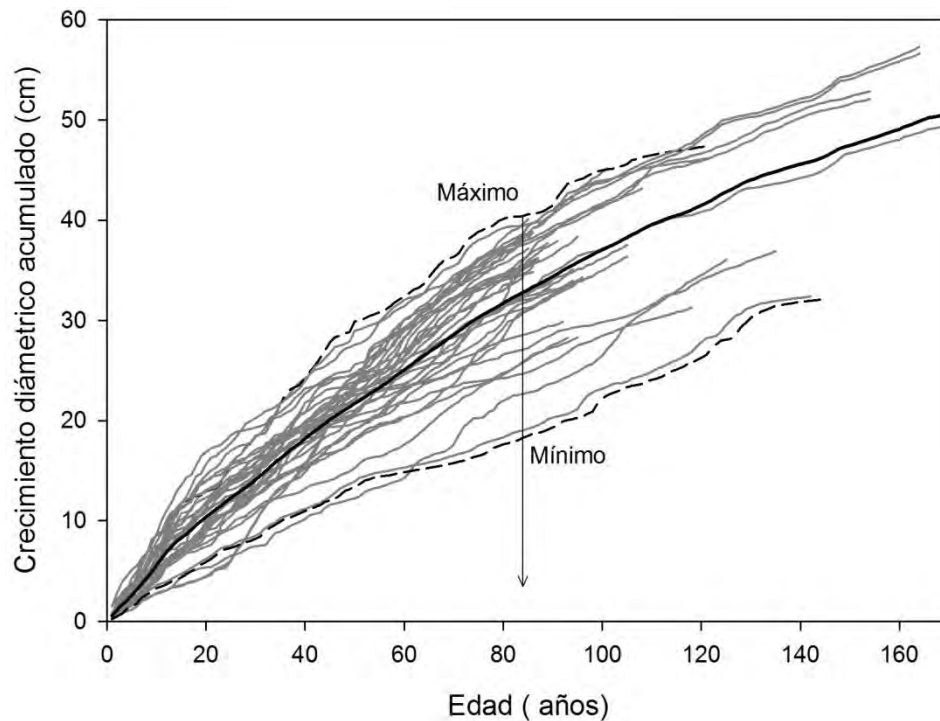


Figura 3.9. Crecimiento diámetro acumulado de 35 árboles *Centrolobium microcheate* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada individuo y la línea negra continua al crecimiento diámetro medio. Los ejemplares con velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 83 años alcanzada por todos los árboles muestreados en la localidad de Concepción.

Los árboles de *C. microcheate* de rápido crecimiento necesitan entre 80 y 120 años de edad aproximadamente para alcanzar el diámetro mínimo establecido para el corte de esta especie en la región (40 cm). Este tiempo es mucho más largo para los árboles de bajo crecimiento, que requieren edades superiores a 120–170 años para alcanzar los 40 cm, diámetro mínimo establecido para el corte de esta especie en la región (Fig. 3.9)

En la Figura 3.10 se puede observar que los incrementos medios anuales durante los primeros años de crecimiento son relativamente altos, mostrando valores de 0,5 cm por año. A partir de los 20 años se observa una disminución en la velocidad de crecimiento radial, con valores muy por debajo de los 0,5 cm/año luego de los 100 años.

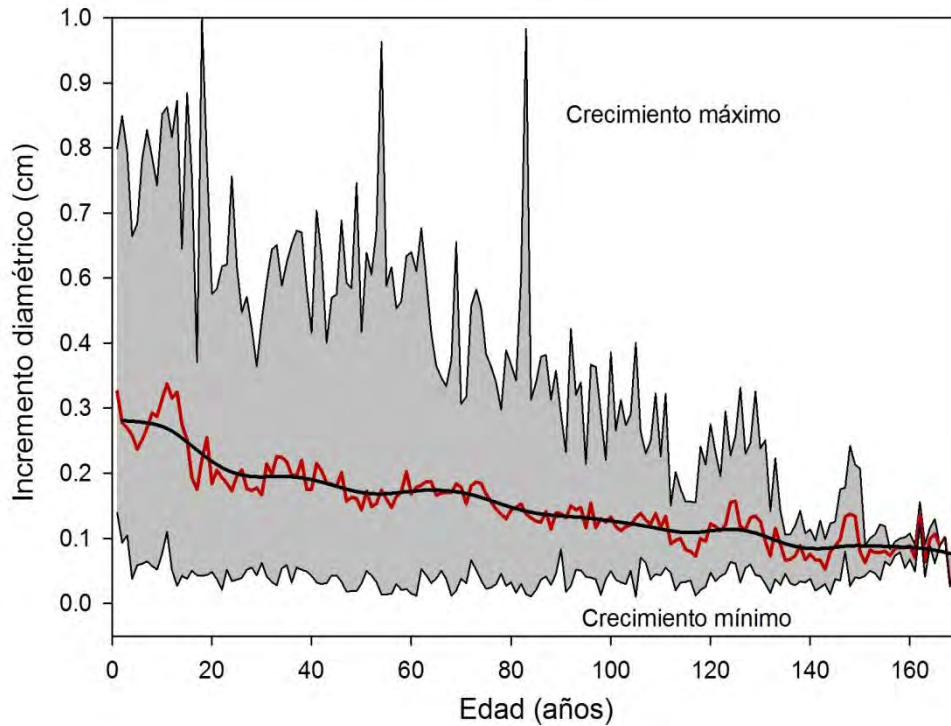


Figura 3.10. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 35 árboles *Centrolobium microcheate* en la localidad de Concepción, distrito biogeográfico Chiquitano Boliviano. Los valores de incremento medio anual han sido representados con línea roja y el IMA suavizado usando una función spline de 15 años se indica con línea negra.

El incremento diamétrico anual máximo presenta importante fluctuaciones interanuales. Durante los primeros 30 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 1 y 0,7 cm/año. El incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 1,0 cm/año.

Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *C. microcheate*, tiene una moderada velocidad de crecimiento radial en este

distrito. Los valores medios de IMA para el periodo de analizados (170 años) fueron de 0,29 cm/año.

### Santa Mónica

La Figura 3.11 representa el crecimiento diamétrico acumulado medio y los crecimientos acumulados para 50 árboles de *C. microcheate*, colectados en este sitio perteneciente al distrito biogeográfico de Guarayos. Aunque algunos de los individuos muestreados superan los 130 años de edad, todos los árboles alcanzan al menos 60 años. Se observa una gran variabilidad en los ritmos de crecimiento los que varían entre 20 y 65 cm para una edad de 60 años (Fig. 3.11).

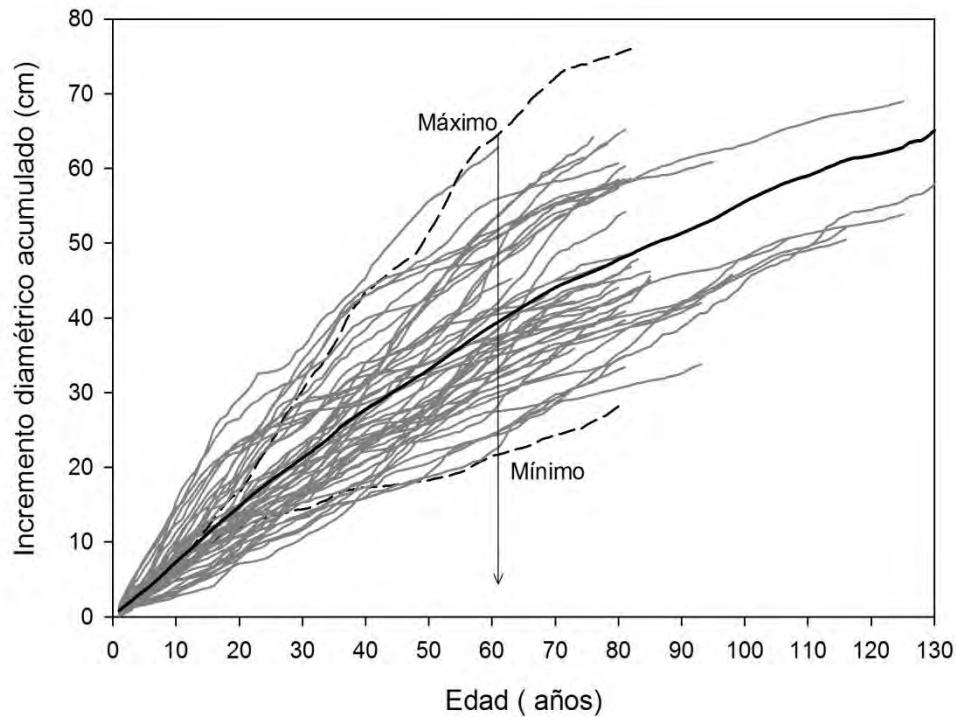


Figura 3.11. Crecimiento diamétrico acumulado de 50 árboles *Centrolobium microcheate* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 60 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

En este caso particular, los árboles de rápido crecimiento pueden alcanzar diámetros de 40 cm entre los 35 y 60 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento tardan más de 60 años y en algunos casos más de 100 años para alcanzar los 40 cm, diámetro mínimo establecido para el corte de esta especie en esta localidad (Fig. 3.11). En la Figura 3.12 se muestran las curvas del incremento medio, máximo y mínimo anual de los 50 árboles de *C. microcheate*. Los incrementos medios anuales durante los primeros años de crecimiento son relativamente altos, mostrando valores de 0,6 cm por año (en el gráfico los valores no superan los 0,5 cm/año). Después de los 20 años aproximadamente, se observa una disminución en la velocidad de crecimiento radial hasta aproximadamente los 80 años. Sin embargo, como el número de árboles involucrados decrece marcadamente después de los 80–85 años, resulta muy difícil establecer si esa disminución en el incremento es producto de la tendencia biológica del crecimiento de los árboles o la disminución de número de individuos considerados.

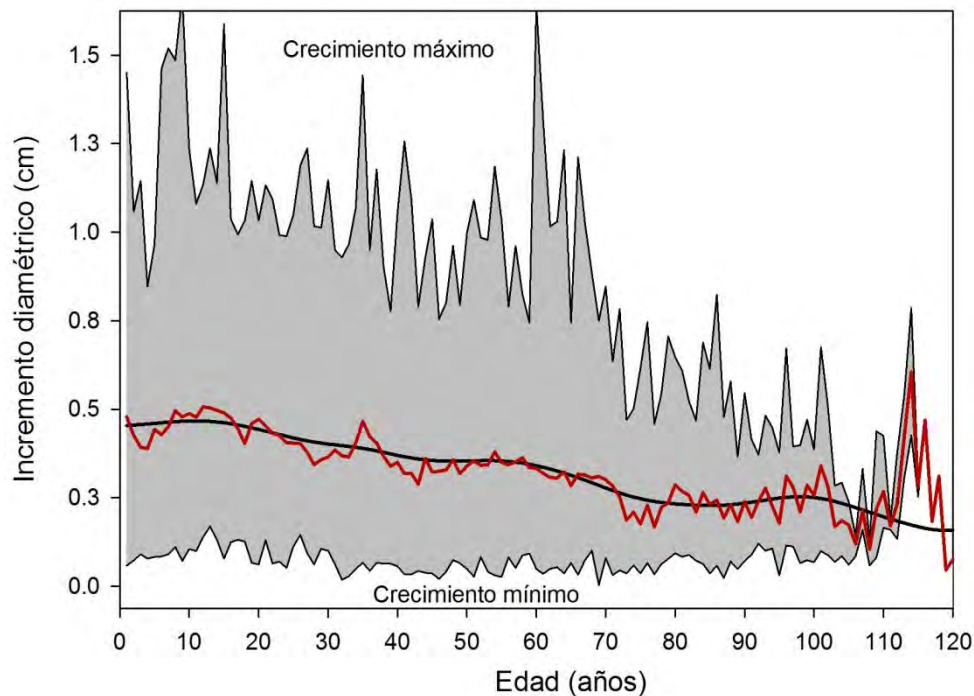


Figura 3.12. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 50 árboles *Centrolobium microcheate* en la localidad de Santa Mónica, distrito biogeográfico de Guarayos Boliviano. Los valores de incremento medio anual han sido graficados en línea roja el IMA suavizado se muestra con línea negra.

El incremento diamétrico anual máximo presenta importantes fluctuaciones interanuales. Durante los primeros 60 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 1,6 y 0,9 cm/año. Entre los 110–115 años se registra una marcada reducción del crecimiento con valores máximos cercanos a los 0,5 cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,2–0,3 cm/año, aunque al final en base solo a dos muestras, los valores aumentan marcadamente. Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *C. microcheate*, posee una alta velocidad de crecimiento radial en el presente distrito. Donde los valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 120 años fueron de 0,49 cm.

### **Santa Anita**

En esta localidad, perteneciente al distrito biogeográfico Chiquitano, se recolectaron 31 ejemplares de tarara amarilla. En la Figura 3.13 se muestran los crecimientos acumulados de estos ejemplares como así también el crecimiento diamétrico acumulado medio. Algunos de los individuos muestreados superan los 120 años de edad pero todos los árboles alcanzan al menos 53 años. En la Figura 3.13 se puede observar una gran similitud en las velocidades de crecimiento con excepción de dos ejemplares cuyos ritmos de crecimiento representan los valores mínimos (15 cm) y máximos (50 cm) para una edad de 53 años. Los diámetros mínimos de corte (>40cm) son alcanzados por ejemplares de rápido crecimiento entre 40 y 100 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los individuos de bajo crecimiento tardan más que 120 años para alcanzar dicho diámetro (Fig. 3.13).

Como se puede observar en la Figura 3.14, los incrementos medios anuales durante los primeros años son relativamente altos, mostrando valores de 0,4 cm/año, hasta aproximadamente los 20 años. A partir de ese momento y durante 30 años se observa una disminución en la velocidad de crecimiento radial para luego mantenerse constante. Sin embargo, como el número de árboles involucrados decrece marcadamente después de los 120 años, resulta muy difícil establecer si esa disminución en el incremento es producto de la tendencia biológica del crecimiento de los árboles o la disminución de número de individuos considerados.

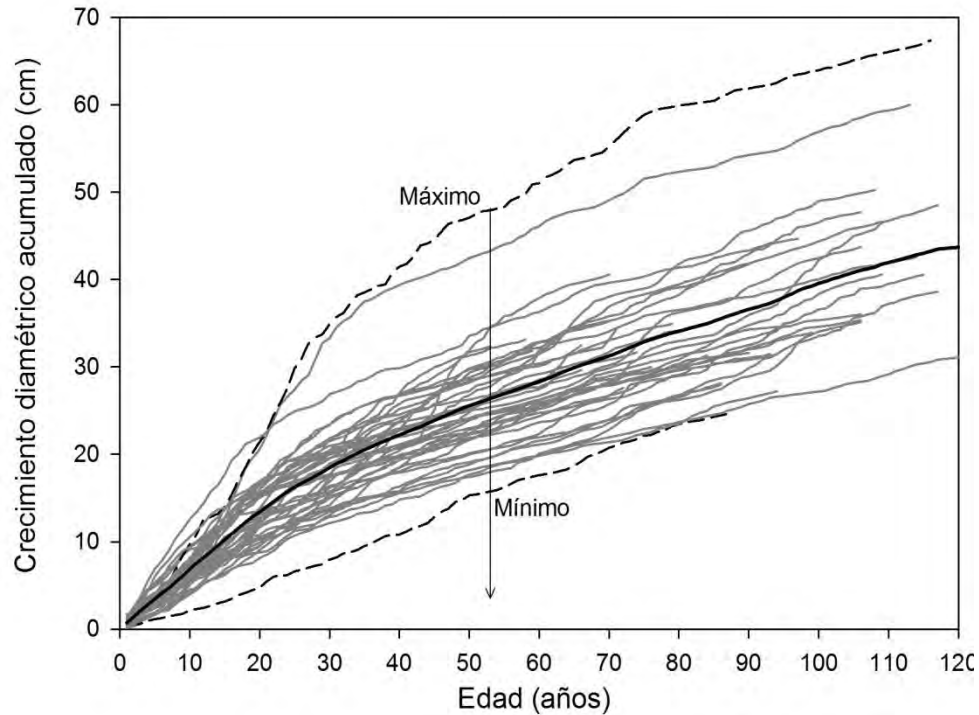


Figura 3.13. Crecimiento diamétrico acumulado de 31 árboles de *Centrolobium microcheate* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 53 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

Durante los primeros 50 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 1,3–0,6 cm/año. Como se observa en la Figura 3.14 el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,2–0,3 cm/año. Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *C. microcheate*, tiene una baja velocidad de crecimiento radial en el distrito biogeográfico Chiquitano. Donde los valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 130 años fueron de 0,35 cm.

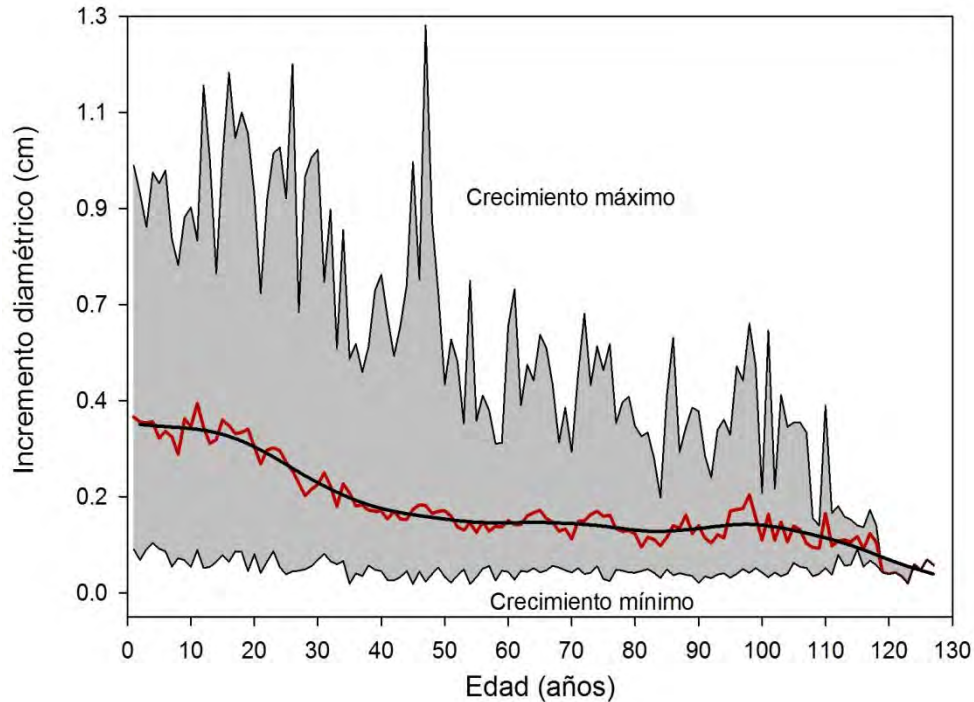


Figura 3.14. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 31 árboles *Centrolobium microcheate* en la localidad de Santa Anita, distrito biogeográfico Chiquitano Boliviano. Los valores de incremento medio anual han sido graficados en línea roja y en negro el IMA suavizado usando una función spline de 15 años.

### Zapocó

En la Comunidad de Zapocó, distrito biogeográfico Chiquitano, se recolectaron muestras de 23 ejemplares. Algunos de los individuos muestreados superan los 120 años de edad y todos los árboles alcanzan al menos 63 años. En la Figura 3.15 se puede observar poca variabilidad en los ritmos de crecimiento entre los individuos oscilando entre 20 y 30 cm para una edad de 63 años. Los árboles de rápido crecimiento pueden alcanzar el diámetro establecido para el corte entre los 80 y 110 años aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento necesitaran más de 120 años para alcanzarlo (Fig. 3.15).

En la Figura 3.16 se grafican las curvas del incremento medio (IMA), máximo y mínimo anual de los 23 árboles de *C. microcheate*. Los incrementos medios anuales durante los primeros años son menores a los encontrados para esta especie en los sitios anteriores, mostrando valores de 0,35 cm/año, seguido por una disminución hasta los 40 años. Después de esta edad y hasta los 120 años, los valores son relativamente uniformes. Sin embargo, como el número



de árboles involucrados decrece marcadamente después de los 90 años esa disminución en el incremento puede ser producto de la disminución en el número de individuos considerados.

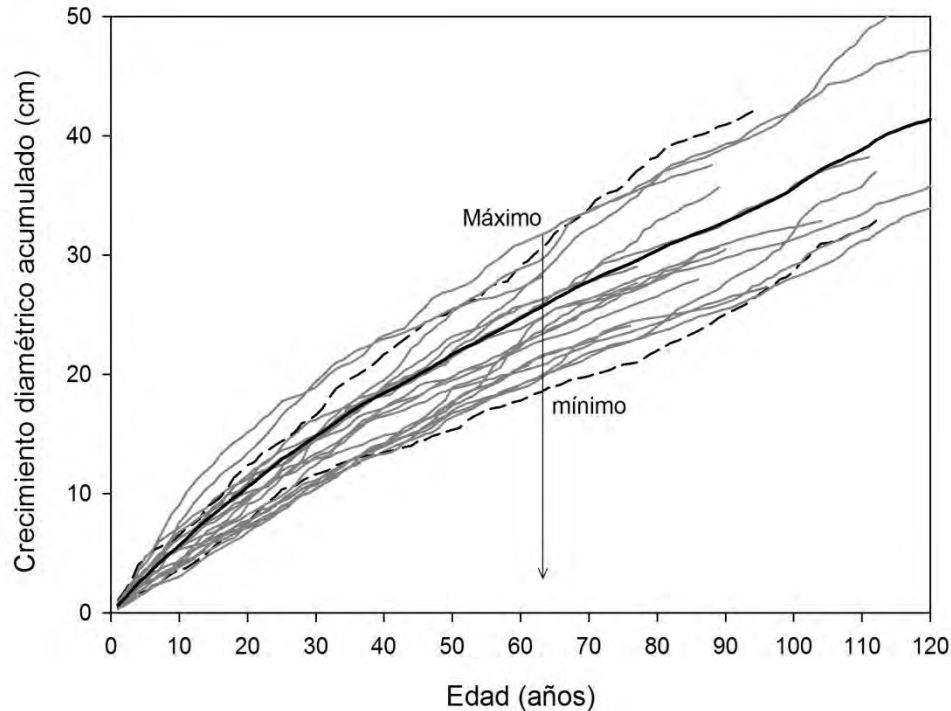


Figura 3.15. Crecimiento diamétrico acumulado de 23 árboles de *Centrolobium microcheate* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 63 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

Durante los primeros 20 años de crecimiento se registran los valores más altos del crecimiento corriente máximo que osciló entre 1,1–0,4 cm/año. Entre los 80–90 años se registra una marcada reducción del crecimiento con valores máximos cercanos a los 0,2 cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,2–0,3 cm/año. Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *C. microcheate*, tiene una baja velocidad de crecimiento radial en esta localidad. Los valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 130 años fueron de 0,33 cm.

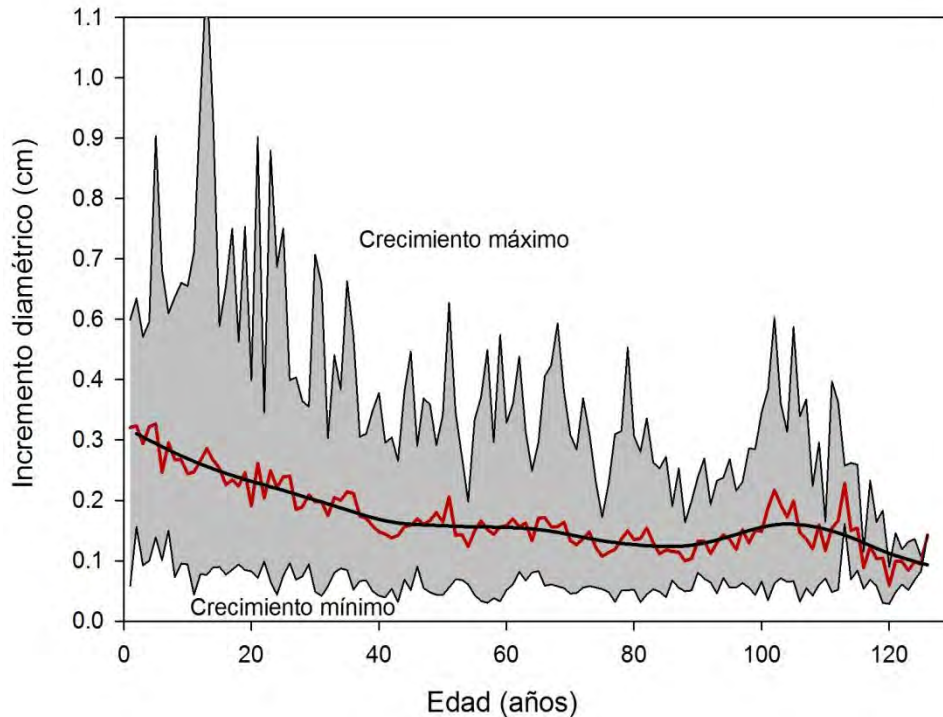


Figura 3.16. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 23 árboles *Centrolobium microcheate* en la localidad de Zapocó, distrito biogeográfico Chiquitano Boliviano. Los valores de IMA se muestran con una línea roja y el IMA suavizado en negro usando una función spline de 15 años.

### Makanaté

Para 26 árboles de *C. microcheate*, colectados en el sitio distrito biogeográfico de Guarayos, grafican en la Figura 17 sus crecimientos acumulados y el crecimiento acumulado medio. En este sitio se encontraron individuos que superan los 90 años de edad, si bien, todos los ejemplares alcanzan al menos 40 años. Se observa poca variabilidad en los ritmos de crecimiento siendo de 15 y 45 cm los valores mínimos y máximos, respectivamente, para una edad de 40 años (Fig. 3.17). Los diámetros mínimos de corte, son alcanzados por los árboles de rápido crecimiento entre los 30 y 55 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento tardan desde 55 hasta más de 100 años para el mismo diámetro (Fig. 3.17).

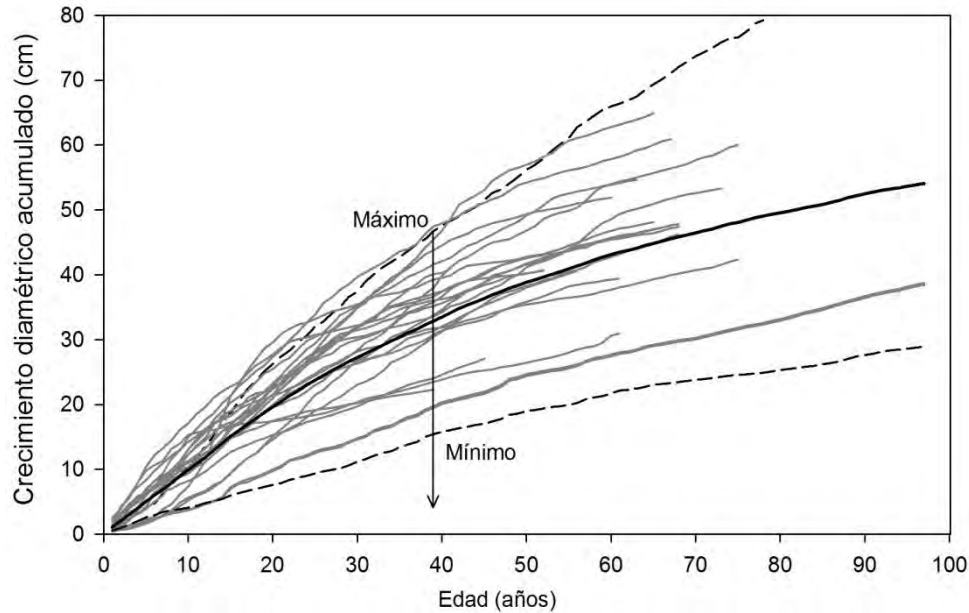


Figura 3.17. Crecimiento diamétrico acumulado de 26 árboles de *Centrolobium microcheate* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 40 años alcanzada por todos los ejemplares muestreados.

Los incrementos medios anuales durante los primeros 20 años de crecimiento tienen valores altos, de 0,56 cm/año. Después de esta edad los valores tienen una reducción gradual. Sin embargo, como el número de árboles involucrados decrece marcadamente de 26 a 5 árboles después de los 75 años, como se explicó anteriormente, esa disminución en el incremento puede ser producto de la disminución en el número de individuos considerados (Fig. 3.18). Como se observó para otros sitios, el incremento diamétrico anual máximo presenta importantes fluctuaciones interanuales. Durante los primeros 25 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 1,7–0,8 cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,3–0,2 cm/año (Fig. 3.18).

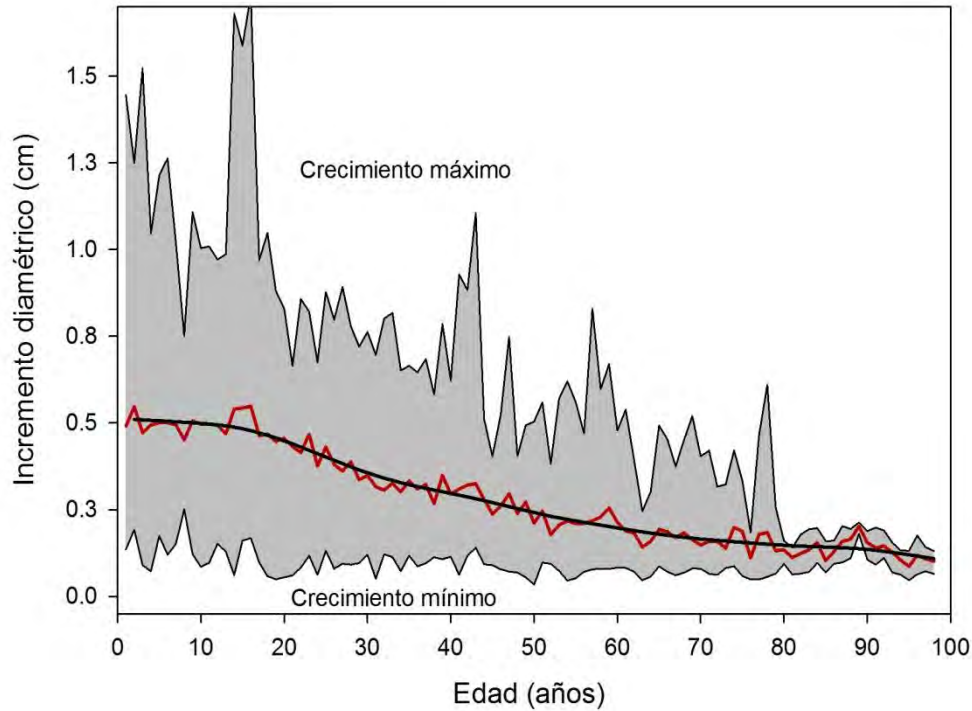


Figura 3.18. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 23 árboles *Centrolobium microcheate* en la localidad de Makanaté, distrito biogeográfico de Guarayos. En rojo se grafica el IMA y en negro el IMA suavizado usando una función spline de 15 años.

Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, indican que *C. microcheate*, tiene una alta tasa de crecimiento radial en la región biogeográfica de Guarayos (Monte Verde). Donde los valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 100 años fueron de 0,55cm.

### Guarayos–La Chonta

Otros de los sitios donde se muestreo *C. microcheate*, fue en la Concesión forestal La Chonta en la Localidad de Guarayos que pertenece al distrito biogeográfico de Guarayos. En este sitio se recolectaron 24 ejemplares. Todos los individuos muestreados alcanzaron los 25 años de edad y algunos superaron los 100 años. En la Figura 3.19 se observa una gran variabilidad en los ritmos de crecimiento, con variaciones entre 10 y 40 cm para una edad de 25 años.

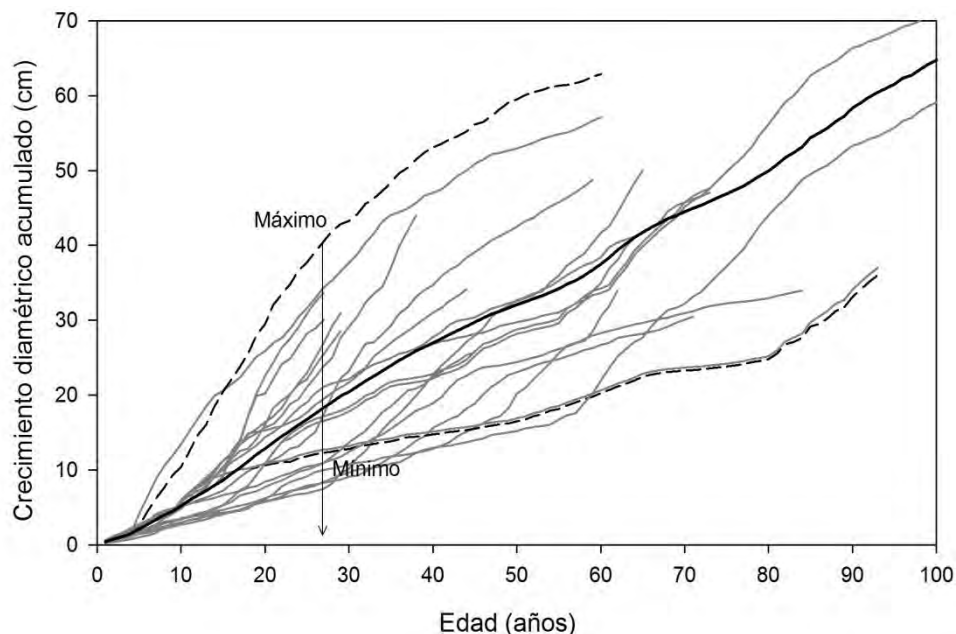


Figura 3.19. Crecimiento diamétrico acumulado de 24 árboles de *Centrolobium microcheate* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 25 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

En este sitio el diámetro mínimo de corte permitido es de 50 cm, este diámetro es alcanzado entre los 40 y 80 años de edad aproximadamente por los ejemplares de rápido crecimiento mientras que los individuos con velocidades menores a la media alcanzan este diámetro entre los 80 y 100 años de edad (Fig. 3.19).

Los individuos de este sitio muestran los menores valores de 0,2 cm/año, en el incremento medio anual durante los primeros años de crecimiento, aunque después se observa un incremento hasta los 20 años. A partir de esta edad y hasta los 50 años, el IMA muestra una reducción gradual de sus valores. El número de ejemplares estudiados decrece a partir de los 50 años, las variaciones en el IMA luego de esta edad responde a la disminución del número de individuos considerados.

El crecimiento corriente máximo osciló entre 1,8–0,2 cm/año durante los primeros 40 años. Entre los 50–60 años se registra una marcada reducción del crecimiento con valores máximos cercanos a los 0,7 cm/año. El incremento mínimo anual se mantiene estable oscilando

alrededor de los 0,2–0,1 cm/año, excepto de los últimos años los valores tienen un aumento muy marcado.

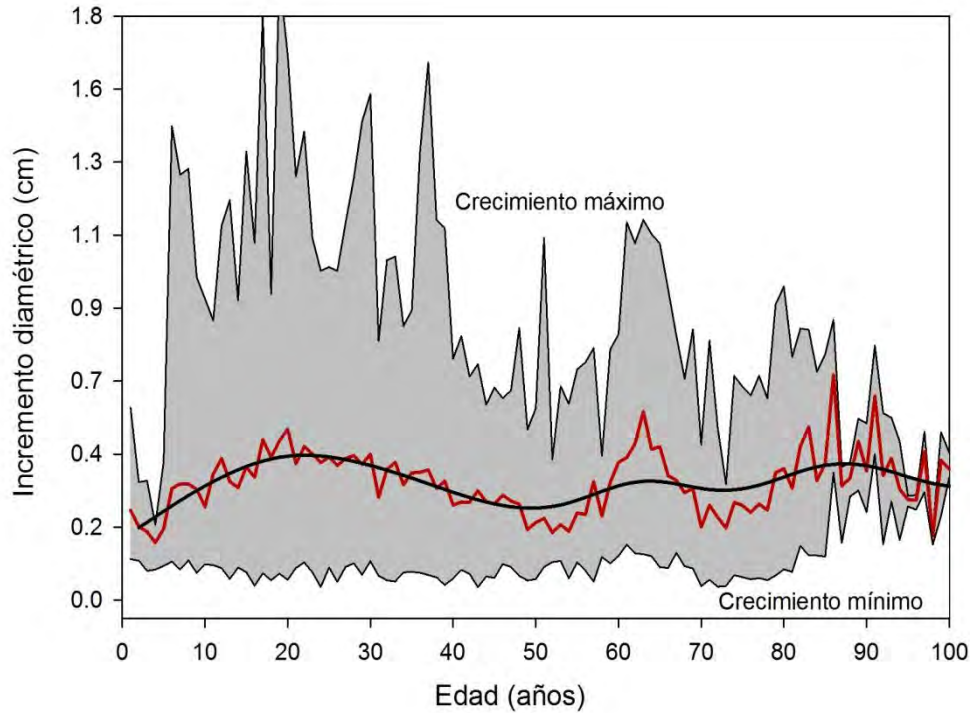


Figura 3.20. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 24 árboles *Centrolobium microcheate* en la localidad de Guarayos–La chonta, distrito biogeográfico de Guarayos. Los valores de IMA han sido graficados en rojo y el IMA suavizado usando una función spline de 15 años, en negro.

Los incrementos diamétricos obtenidos mediante a través del análisis de los anillos de crecimiento, indican que *C. microcheate*, presenta una alta velocidad de crecimiento radial generalmente en bosques de este distrito, particularmente en el sitio La Chonta. Los valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 110 años fueron de 0,64cm, consolidándose entre los valores más altos registrados para esta especie.

### ***Copaifera chodatiana***

Doce ejemplares de esta especie cuyo nombre vulgar es sirarí fueron colectados en la localidad Concepción, distrito biogeográfico Chiquitano. A pesar del escaso número de ejemplares incluidos en este análisis, algunos de los individuos muestreados superaron los 170

años de edad, pero todos los árboles alcanzaron al menos 106 años. En base a los 12 árboles, se observa una poca variabilidad en los ritmos de crecimiento, de 30 y 60 cm para una edad de 106 años (Fig. 3.21). En la figura 3.21 se observa que sólo 2 individuos alcanzaron el diámetro mínimo de corte a los 80 años aproximadamente.

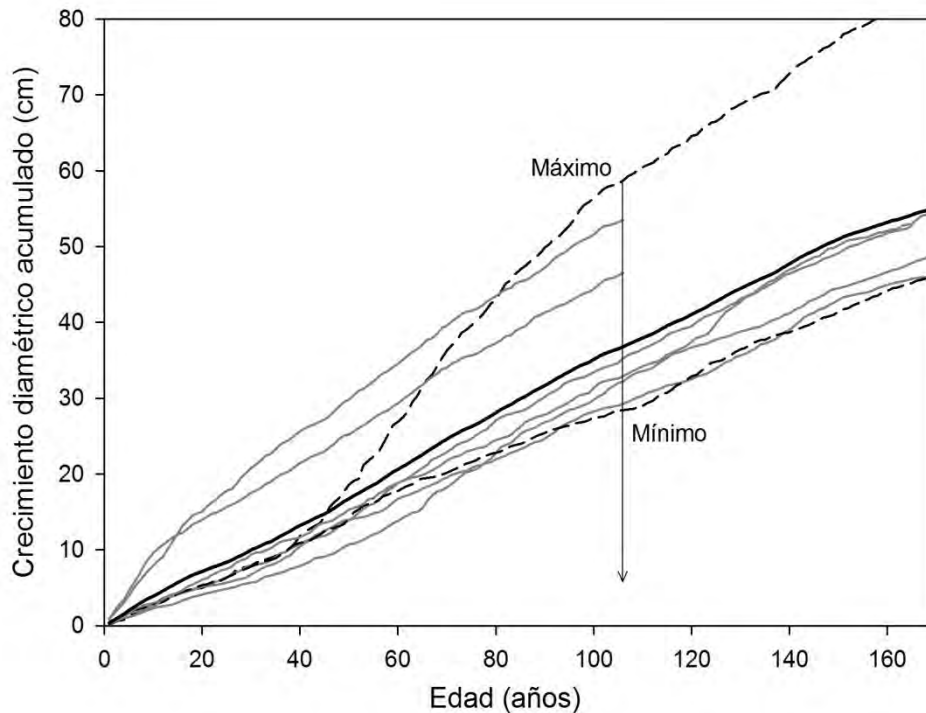


Figura 3.21. Crecimiento diamétrico acumulado de 12 árboles de *Copaifera chodatiana* basado en la medición de 1 radio por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 106 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

En la Figura 3.22 se muestran gráficamente las curvas del incremento medio, máximo y mínimo anual (IMA) de los 12 árboles de *C. chodatiana* (sirarí), si bien el número de ejemplares es bajo, sin embargo brindan una idea clara sobre las variaciones del crecimiento durante el tiempo analizado. Los incrementos medios anuales durante los primeros años de crecimiento alcanzan los 0,35 cm/año, aunque después se nota reducción de estos valores entre los 20 y 110 años.



Durante los primeros 20 años y los 50–70 años de crecimiento, se registran los valores más altos, el crecimiento corriente mostrando valores de 1,0–0,4 cm/año. En cuanto al incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,1–0,05 cm/año.

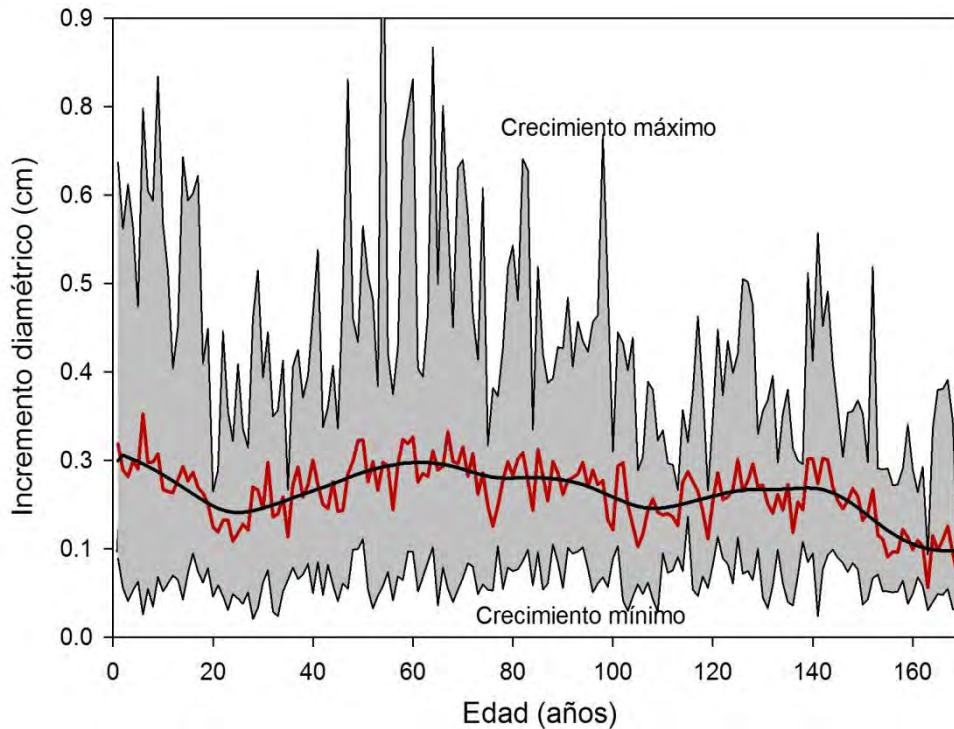


Figura 3.22. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 12 árboles *Copaifera chodatiana* en la localidad de Concepción, distrito biogeográfico Chiquitano. El IMA se representa en rojo y en negro el IMA suavizado usando una función spline de 15 años.

Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *C. chodatiana*, tiene una baja velocidad de crecimiento radial en este distrito. Donde los valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 170 años fueron de 0,33cm. Los valores obtenidos mediante nuestro método son algo mayores a los de Dauber *et al.* (2005) quienes reportaron valores que varían entre 0,15 y 0,18cm/año.

### ***Ficus boliviana***

Otra de las especies recolectadas en la Concesión forestal La Chonta, localidad de Guarayos, fue *F. boliviana* (bibosí colorado). De esta especie se recolectaron 9 ejemplares que

alcanzaron todos una edad mínima de 27 años, si bien algunos ejemplares superaron los 100 años. Las tasas de crecimiento muestran alta variabilidad oscilando entre 15 y 40 cm para una edad de 27 años (Fig. 3.23). En este caso particular, los árboles de rápido crecimiento pueden alcanzar diámetros de 50 cm en 35–40 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento requieren alrededor de 50 años para alcanzar 50 cm de diámetro (Fig. 3.23).

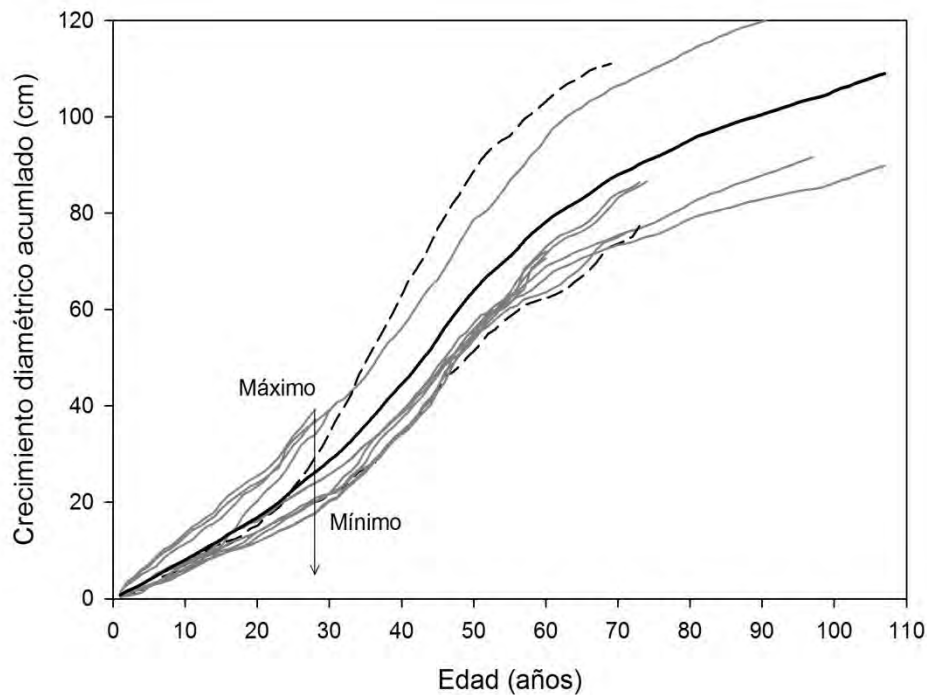


Figura 3.23. Crecimiento diamétrico acumulado de 12 árboles de *Ficus boliviana* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 27 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

La Figura 3.24 representa las curvas del incremento medio, máximo y mínimo anual (IMA) de los 9 árboles de *F. boliviana*, las mismas muestran un concepto claro sobre las variaciones del crecimiento durante el tiempo analizado. Los incrementos medios anuales durante los primeros años de crecimiento alcanzan los 0,5 cm/año, posteriormente se nota un incremento positivo hasta los 50 años registrando los valores más altos de 1,5 cm/año. Después de esta edad, se observa una reducción gradual del crecimiento. Resulta muy difícil establecer si esa

disminución en el incremento es producto de la tendencia biológica del crecimiento de los árboles o la disminución de número de individuos considerados.

Los incrementos diamétricos, en los cuales se observa durante los primeros 60 años de crecimiento se registran los valores más altos oscilando entre 1,4–2,9 cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual para el mismo periodo tiene varía entre 0,4 y 1,0 cm/año (Fig. 3.24). Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, indican que *F. boliviana*, tiene una alta velocidad de crecimiento radial, con valores medios del incremento anual de 1,01 cm/año para un periodo de 110 años.

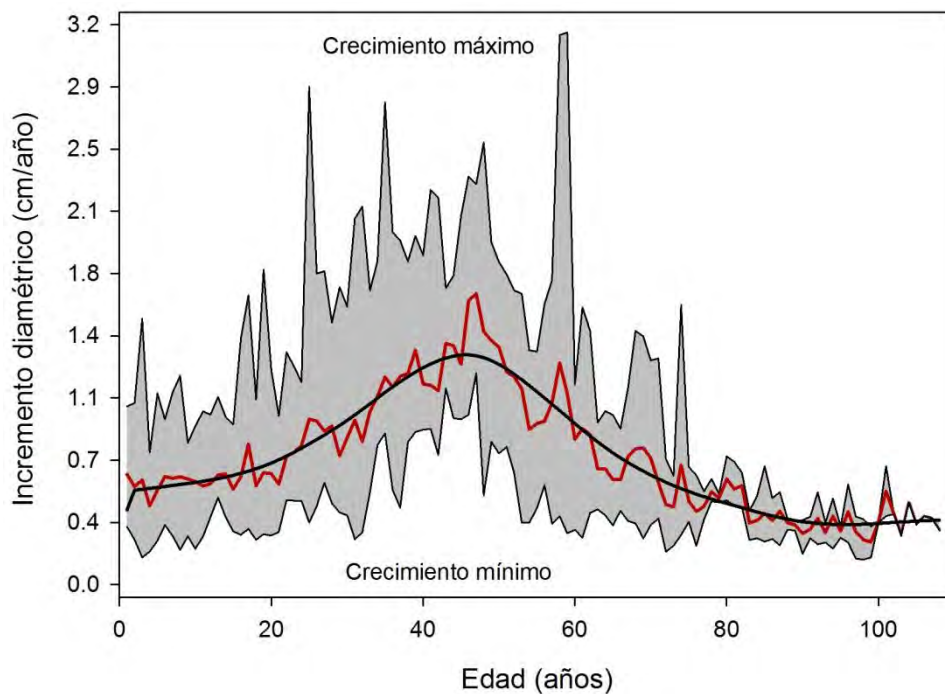


Figura 3.24. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 9 *Ficus boliviana* (bibosí colorado) en la localidad de Guarayos–La Chonta, distrito biogeográfico de Guarayos, Bolivia. Los valores de incremento medio anual han sido graficados en valores reales (línea roja) los cuales tienen un valor medio de 1.01 cm/año y suavizados (línea negra) usando una función spline de 15 años.

### *Hymenaea courbaril*

En la localidad de Guarayos se muestrearon también 14 ejemplares de *H. courbaril* (paquí), dentro del distrito biogeográfico del mismo nombre. Algunos individuos alcanzan los 150 años de edad. Como todos los árboles al menos tienen 57 años se tomó este valor para realizar

las comparaciones. Los árboles de esta especie presentan poca variabilidad en los ritmos de crecimiento los cuales varían entre 20 y 45 cm para una edad de 56 años (Fig. 3.25).

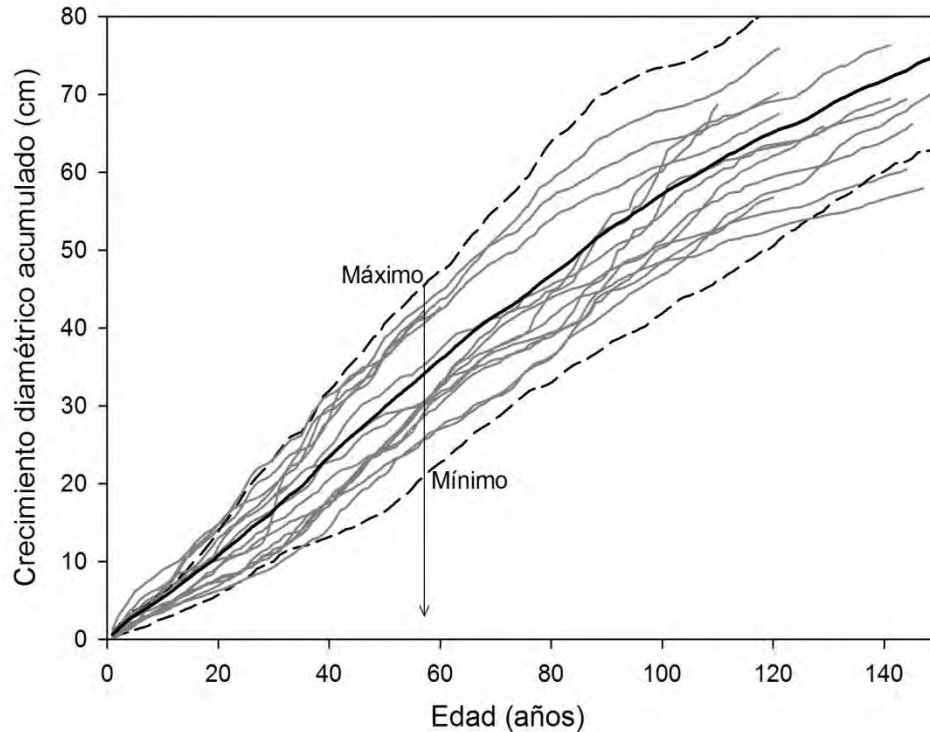


Figura 3.25. Crecimiento diamétrico acumulado de 14 árboles de *Hymenaea courbaril* basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 56 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

En esta región el diámetro mínimo de corte para esta especie es de 50 cm, los árboles de rápido crecimiento pueden alcanzar este diámetro entre los 70 y 90 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento necesitarían edades superiores a 90 años (Fig. 3.25).

En la Figura 3.26 se encuentran graficados los incrementos medios, máximos y mínimos anuales (IMA) de los 14 árboles de *H. courbaril*, mostrando sus variaciones del crecimiento durante el tiempo analizado. Los incrementos medios anuales durante los primeros años de crecimiento tienen valores entre 0,50 cm por año, después se nota un incremento hasta los 40 años alcanzando los valores más altos registrados (0,6cm/año). Después de esta edad, se

observa una reducción gradual de sus valores. Resulta muy difícil establecer si esa disminución en el incremento es producto de la tendencia biológica del crecimiento de los árboles o la disminución de número de individuos considerados.

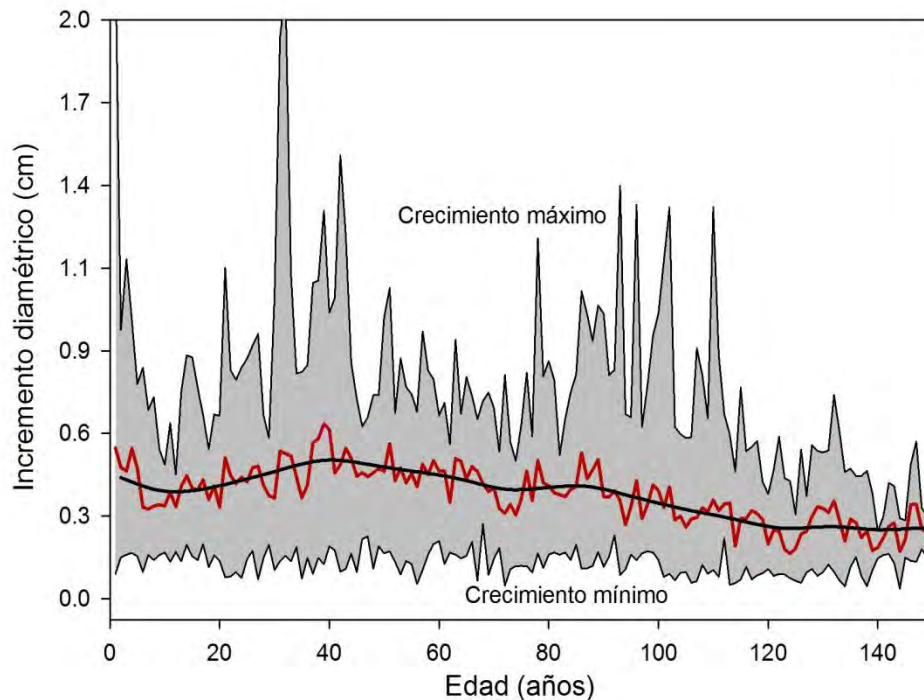


Figura 3.26. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 14 árboles de *Hymenaea courbaril* en la localidad de Guarayos–La Chonta. Los valores de incremento medio anual han sido graficados en rojo y los valores de IMA suavizado usando una función spline de 15 años en negro.

A lo largo de los 150 años analizados el incremento diamétrico anual máximo indican fluctuaciones interanuales muy marcadas. Durante los primeros 30–45 años se registran los valores más altos del crecimiento corriente máximo cuyos valores oscilaron entre 0,7-2,0 cm/año (Fig. 3.26).

Los incrementos diamétricos obtenidos mediante el análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *Hymenaea courbaril*, posee una tasa de crecimiento diamétrico media en comparación con las otras especies analizadas en la región, con valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 150 años de 0,49 cm. Para esta especie no se han reportado previamente tasas de crecimiento diamétrico en esta región u otras cercanas a la misma.

***Machaerium scleroxylon***

Dentro del distrito biogeográfico Chiquitano, se recolectaron 9 ejemplares de *M. scleroxylon* (el nombre nativo es morado) en la localidad de Concepción. Si bien todos los ejemplares alcanzaron los 66 años, algunos individuos muestreados superan los 120 años de edad. En base a estos pocos árboles, se observa una alta variabilidad en los ritmos de crecimiento los que varían entre 20 y 35 cm para una edad de 67 años (Fig. 3.27).

Los ejemplares que presentan crecimientos por encima del valor medio pueden alcanzar diámetros de 40 cm entre los 70 y 120 años de edad aproximadamente. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento requieren más de 120 años para alcanzar los 40 cm de diámetro (Fig. 3.27).

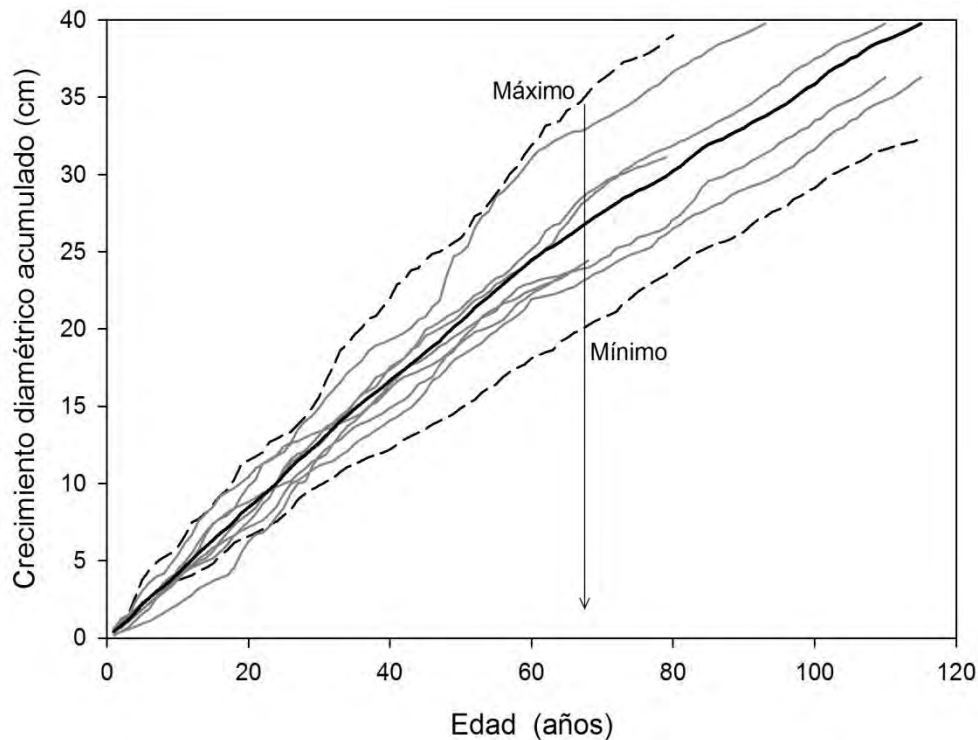


Figura 3.27. Crecimiento diamétrico acumulado de 9 árboles de *Machaerium scleroxylon*, basado en la medición de 1 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 66 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

Los incrementos medios anuales se mantienen estables en el tiempo durante todo el periodo analizado, con valores que oscilan entre 0,3–0,5cm/año, aunque en los últimos años se nota un

decrecimiento. Sin embargo, como el número de árboles involucrados decrece marcadamente de 9 a 5 árboles después de los 80 años, por lo tanto, resulta muy difícil establecer si esa disminución en el incremento es producto de la tendencia biológica del crecimiento de los árboles o la disminución de número de individuos considerados (Fig. 3.28).

El incremento diamétrico anual máximo presenta algunas fluctuaciones interanuales, que durante los primeros 60 años de crecimiento, periodo en el que se registran los valores más altos, el crecimiento corriente máximo osciló entre 0,6–1,0 cm/año. Entre los 70–90 años se registra una marcada reducción del crecimiento con valores máximos cercanos a los 0,5 cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,1–0,3 cm/año (Fig. 3.28).

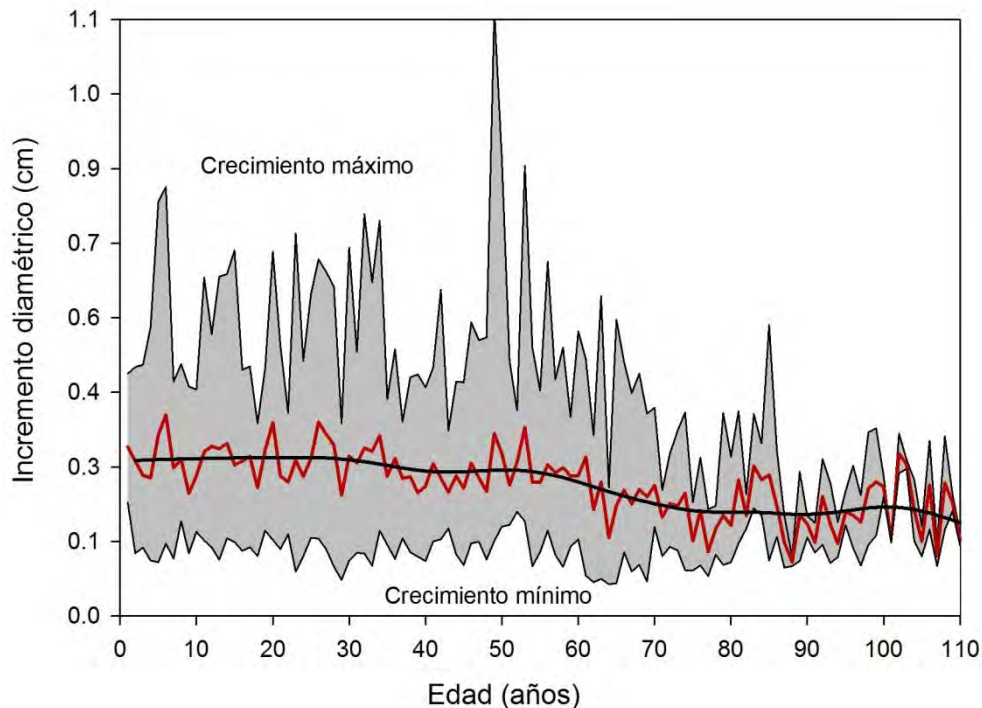


Figura 3.28. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 9 árboles de *Machaerium scleroxylon*, en la localidad de Concepción, distrito biogeográfico Chiquitano. Los valores de IMA han sido graficados con una línea roja y el IMA suavizado se representa con una línea negra.

Los incrementos diamétricos obtenidos como resultado del análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *M. scleroxylon*, tiene una tasa baja de crecimiento radial en el presente distrito. Donde los valores medios del incremento anual para un periodo de



comparación de 110 años fueron de 0,34 cm. Probablemente la escasa cantidad de ejemplares incluidos para este análisis, hacen que los datos sean mayores a las observaciones realizadas por Dauber *et al.* (2005), de 0,23–0,27 cm/año, a través de medición realizadas en parcelas permanentes.

### *Platimiscium ulei*

En la Localidad Santa Anita se colectaron 20 individuos de *P. ulei* (tarara colorada). Aunque algunos de los árboles muestreados alcanzan los 110 años de edad, todos los árboles tienen al menos 50 años.

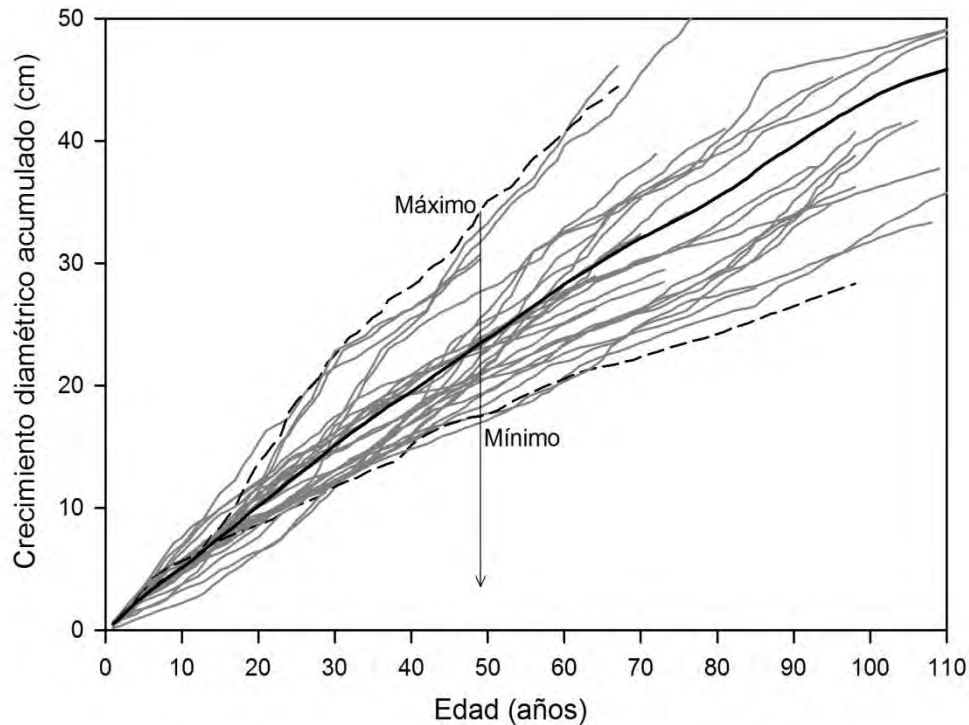


Figura 3.29. Crecimiento diamétrico acumulado de 20 árboles de *Platimiscium ulei*, basado en la medición de 2 radios por árbol. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas cortadas. La flecha representa la edad biológica de 50 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

En la Figura 3.29 se observa poca variabilidad en los ritmos de crecimiento oscilando entre 15 y 35 cm para una edad de 50 años. Al diámetro mínimo de corte es alcanzado entre los 55 y

100 años de edad aproximadamente por los individuos de rápido crecimiento. Por el contrario, los árboles de bajo crecimiento necesitarían más de 100 años (Fig. 3.29). Mediante la Figura 3.30 se observa que el incremento medio anual durante los primeros años alcanza los 0,5 cm por año, aunque después se nota una reducción gradual hasta 75 años, después de esta edad los valores incrementan positivamente. A partir de esta edad el número de árboles involucrados decrece marcadamente.

El incremento diamétrico anual máximo no presenta un periodo común donde las fluctuaciones interanuales sean marcadas. Durante los primeros 90 años de crecimiento se registran los valores más altos, donde el crecimiento corriente máximo osciló entre 1,4–0,6 cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de los 0,2–0,1 cm/año (Fig. 3.30).

Los incrementos diamétricos derivados del análisis de los anillos de crecimiento, muestran que *P. ulei*, tiene una mediana tasa de crecimiento radial en la Localidad de Santa Anita. Los valores medios del incremento anual para un periodo de comparación de 110 años fueron de 0,41cm/año.

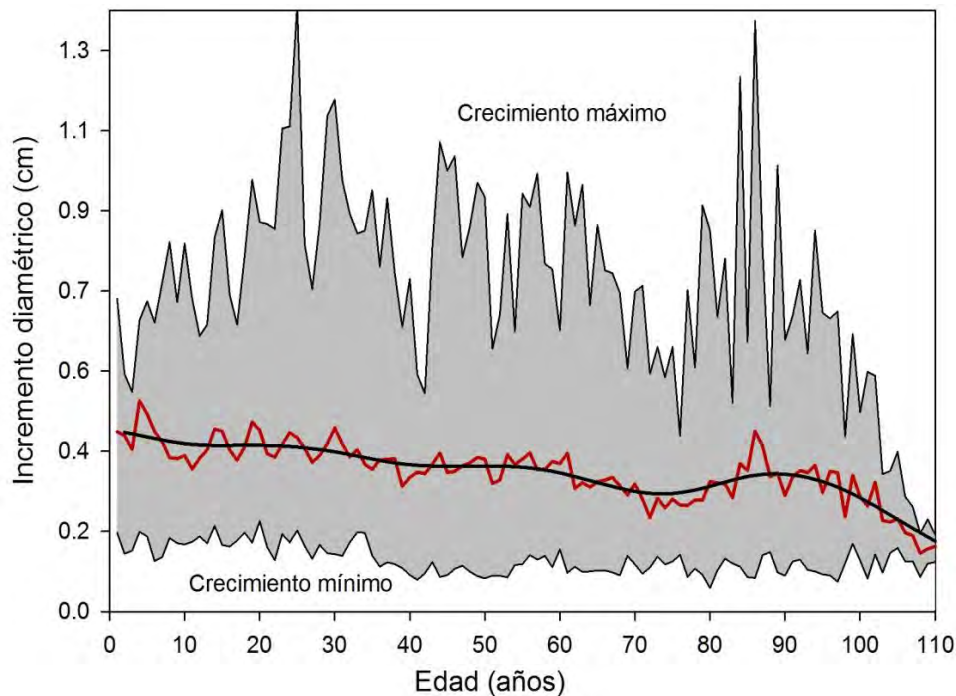


Figura 3.30. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 20 árboles de *Platimiscium ulei*, en la localidad de Santa Anita, distrito biogeográfico Chiquitano. Los valores de incremento medio anual han sido graficados en rojo y el IMA suavizado, usando una función splin de 15 años, en negro.

***Zeyheria tuberculosa***

En la Figura 3.31 se muestran los crecimientos acumulados de 12 individuos conocidos localmente como tajibo mono y fueron colectados en la Localidad Concepción, distrito biogeográfico Chiquitano. Las edades de los ejemplares variaron entre 83 y 130. Los árboles de esta especie presentan una marcada variabilidad en los ritmos de crecimiento, de modo tal que a la edad de 83 años los diámetros oscilan entre 20 y 40 cm (Fig. 3.31).

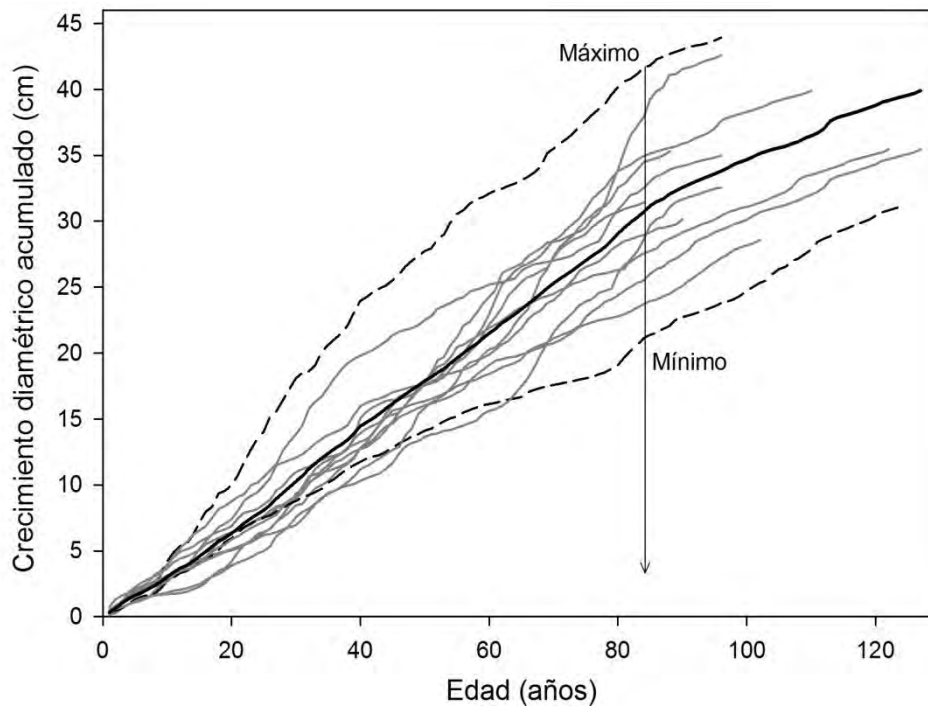


Figura 3.31. Crecimiento diamétrico acumulado de 12 árboles de *Zeyheria tuberculosa*, basado en la medición de los anillos de crecimiento presentes en 1 radio por sección transversal. Las líneas grises corresponden a valores individuales de cada árbol y la línea negra continua al crecimiento diamétrico medio acumulado. Los árboles con las velocidades mayores y menores de crecimiento están indicados por líneas negras cortadas. La flecha representa la edad biológica de 83 años alcanzada por todos los árboles muestreados.

El diámetro mínimo de corte establecido solo fue alcanzado por dos individuos a una edad superior a 80 años lo que refleja la reducida tasa de crecimiento de esta especie.

La Figura 3.32 presenta los incrementos y su variación en el tiempo, donde se observa que el incremento medio anual varió entre 0,4–0,5 cm por año durante los primeros 90 años para luego reducir alcanzando valores de 0,1 cm. Durante los primeros 90 años de crecimiento se registran los valores más altos en el incremento diamétrico anual máximo, oscilando entre

0,9–0,3cm/año. Por el contrario, el incremento mínimo anual es estable y oscila alrededor de 0,1 cm/año. Sin duda esta es una de las especies analizadas con el menor ritmo de crecimiento y a su vez, no se tiene información sobre las tasas de crecimiento.

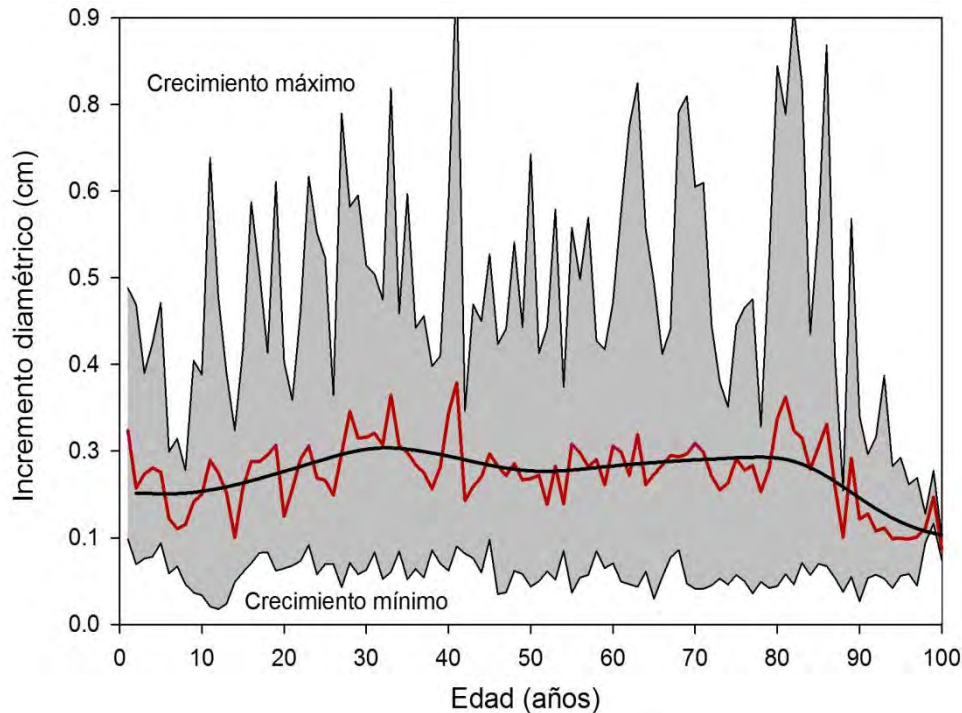


Figura 3.32. Variaciones en el incremento diamétrico a través del tiempo. Las líneas superiores e inferiores muestran los incrementos máximos y mínimos, respectivamente, provenientes de 12 árboles de *Zeyheria tuberculosa*, en la localidad de Concepción distrito biogeográfico Chiquitano. En rojo se grafica el IMA y en negro el IMA suavizado.

#### 4. Tasas de crecimiento diamétrico de las 11 especies en estudio

Las mediciones radiales convertidas a tasas de crecimiento diamétrico muestran claramente que existen grandes diferencias en los incrementos diamétricos anuales entre especies y para una misma especie entre diferentes regiones. Por lo tanto, es muy importante desde el punto de vista del manejo forestal establecer estas diferencias y considerarlas al momento de definir las pautas para el manejo del bosque nativo.

Probablemente sean muchos los factores que contribuyen a las diferencias en crecimiento registradas. Entre estas variables podríamos considerar las asociadas a la calidad del sitio tales como la precipitación, el desarrollo de los suelos (mayor profundidad), a las relacionadas con

la estructura del bosque tales como la densidad de individuos, la cobertura de lianas, y finalmente las asociadas con disturbios ya sean estos naturales (vientos) o producidos por el hombre como el fuego o el tipo de aprovechamiento previo.

Tabla 3.4. Diferencias regionales en incremento anual de *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla) para los distritos biogeográficos de Chiquitos y Guarayos. Los valores entre paréntesis corresponden al periodo común de comparación empleado en la obtención de los promedios, determinado por la localidad de Makanaté con el árbol más viejo de 98 años.

<i>Centrolobium microchaete</i> tarara amarilla		Incremento diamétrico anual en cm		Periodo de comparación y número de árboles		
Sitios de estudio	Distrito biogeográfico	Máximo	Promedio	Mínimo	Años	N
Concepcion (Inpa)	Chiquitano	0,72 (0,99)	<b>0,29 (0,37)</b>	0,14 (0,25)	170 (98)	35
Santa Anita	Chiquitano	1,00 (1,18)	<b>0,35 (0,39)</b>	0,07 (0,25)	127 (98)	31
Zapocó	Chiquitano	0,74 (0,88)	<b>0,33 (0,35)</b>	0,18 (0,24)	126 (98)	23
<i>Promedio</i>	<i>Chiquitano</i>	<i>0,82 (1,01)</i>	<b><i>0,32 (0,37)</i></b>	<i>0,13 (0,25)</i>	<i>141 (98)</i>	<i>89</i>
Santa Mónica	Guarayos	1,09(1,47)	<b>0,49 (0,55)</b>	0,25 (0,36)	160 (98)	50
Makanaté	Guarayos	1,24	<b>0,56</b>	0,21	98	26
Guarayos–LC.	Guarayos	1,46 (1,53)	<b>0,64 (0,64)</b>	0,39 (0,39)	108 (98)	24
<i>Promedio</i>	<i>Guarayos</i>	<i>1,26 (1,50)</i>	<b><i>0,56 (0,59)</i></b>	<i>0,32 (0,32)</i>	<i>134 (98)</i>	<i>90</i>

En los ambientes más húmedos del distrito de Guarayos, dominado por bosques de transición Chiquitano–Amazónico, los árboles presentan un incremento diamétrico más alto que en el distrito biogeográfico de Chiquitos. Así, los ejemplares de *C. microchaete* correspondientes al distrito biogeográfico de Guarayos, presentaron valores medios de incremento anual, a la edad máxima alcanzada, de 0,49, 0,55 y 0,64 cm/año en Santa Mónica, Makanaté y Guarayos–La Chonta, respectivamente. Estos valores son notablemente superiores a los observados en las localidades de Concepción, Santa Anita y Zapocó pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano, con incrementos medios de 0,29, 0,35 y 0,33 cm/año, respectivamente. Estas diferencias también se reflejan en los valores medios regionales, con valores medios de 0,32 y 0,56 cm/año para los distritos Chiquitano y de Guarayos, respectivamente (Tabla 3.4).

Diferencias en las tasas de crecimiento también fueron observados entre especies creciendo en un mismo distrito biogeográfico. Si bien todas las especies en el distrito de Guarayos tienen incrementos relativamente altos, *F. boliviana* (bibosí) es la especie con mayor incremento

anual, alcanzando más de 1 cm/año durante los primeros 100 años de vida. En segundo lugar, pero con crecimientos substancialmente menores a *F. boliviana*, se ubican *C. ianeirensis* (yesquero blanco) y *C. microchaete* (La Chonta) con 0,65 y 0,64 cm/año, respectivamente. Dentro del grupo de especies colectadas en esta región, las que mostraron los menores incrementos anuales fueron *H. courbaril* (paquíó) con 0,49 cm/año y *C. microchaete* en la localidad de Santa Mónica (SM), con 0,49 cm/año. El promedio general para las especies muestreadas en este distrito es aproximadamente de 0,63 cm/año. Sin embargo, dado el diferente número de individuos considerados por especie, el cual es muy reducido en algunos casos, estos valores deben ser considerados con precaución.

Tabla 3.5. Incremento diamétrico anual de especies colectadas en el distrito biogeográfico de Guarayos, los valores en paréntesis corresponden a la edad mínima observada en el conjunto de especies analizadas. Dicha edad se uso como referencia para realizar comparaciones sobre un periodo común a todas las especies incluidas en esta tabla. LC=La Chonta; MK= Makanaté y SM= Santa Mónica.

Especies en estudios		Incremento diamétrico anual en cm.		Periodo de comparación y número de árboles		
Nombre Científico	Nombre común	Máximo	Promedio	Mínimo	Años	N
<i>Ficus boliviana</i>	bibosí	1,69(1,81)	<b>1,01(1,06)</b>	0,34(0,34)	108(98)	9
<i>Hymenaea courbaril</i>	paquíó	0,90(1,17)	<b>0,46(0,57)</b>	0,33(0,46)	150(98)	14
<i>C. microchaete</i> (LC)	tarara amarilla	1,46 (1,53)	<b>0,64(0,64)</b>	0,39(0,39)	108(98)	24
<i>C. microchaete</i> (MK)	tarara amarilla	1,24	<b>0,55</b>	0,21	98	26
<i>C. microchaete</i> (SM)	tarara amarilla	1,09(1,47)	<b>0,49(0,55)</b>	0,25(0,36)	160 (98)	50
<i>Cariniana ianeirensis</i>	yes. Blanco	1, 24(1,28)	<b>0,65(0,62)</b>	0,32(0,34)	124 (98)	9
<i>Promedio regional</i>		<i>1,27 (1,45)</i>	<b>0,63 (0,68)</b>	<i>0,31 (0,37)</i>	<i>130 (98)</i>	<i>132</i>

Se realizó un análisis similar para las especies pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano, donde no fue incorporada *C. microchaete* colectadas en sitios pertenecientes a este distrito, ya que los datos fueron incluidos en la Tabla 3.4. Las especies con mayores incrementos anuales en el distrito biogeográfico Chiquitano, considerando todo el período de medición, son *A. cearensis* con 0,52 cm/año, seguido por *C. fissilis* con 0,44 cm/año y *P. ulei* con 0,41 cm/año (Tabla 3.6).

Entre las especies con menor incremento anual en este distrito se encuentran *Z.tuberculosa* con 0,31 cm/año, *C. chodatiana* con 0,33 cm/año y *M. scleroxylon* con 0,34 cm/año. Aun cuando hay algunas diferencias, estos valores de crecimiento mantienen su proporcionalidad

entre especies cuando se miden sobre el periodo común de 112 años para todas las especies consideradas.

Por lo tanto, si bien se registran diferencias en la tasas de crecimiento entre las especies creciendo tanto en el distrito de Guarayos como el Chiquitano, es claro que las especies del distrito Chiquitano (Tabla 3.6) tienen tasas de crecimiento menores que las del distrito biogeográfico de Guarayos (Tabla 3.5).

Tabla 3.6. Tasas de crecimiento diamétrico anual perteneciente a especies del distrito biogeográfico Chiquitano, los valores entre paréntesis corresponden al tiempo mínimo de comparación (años) y N, es el número de ejemplares por especie incluidos en este análisis.

Especies en estudios		Incremento diamétrico anual en cm.		Periodo de comparación y número de árboles		
Nombre Científico	Nombre común	Máximo	Promedio	Mínimo	Años	N
<i>Amburana cearensis</i>	roble	1,14 (1,03)	<b>0,52 (0,55)</b>	0,21 (0,33)	129 (112)	18
<i>Anadenanthera colubrina</i>	curupaú	1,07 (0,09)	<b>0,36 (0,41)</b>	0,08 (0,12)	143 (112)	31
<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	1,17 (1,36)	<b>0,44 (0,48)</b>	0,17 (0,19)	140 (112)	20
<i>Copaifera chodatiana</i>	sirarí	0,60 (0,74)	<b>0,31 (0,34)</b>	0,20 (0,20)	150 (112)	18
<i>Machaerium scleroxylon</i>	morado	0,60 (0,61)	<b>0,34 (0,34)</b>	0,14 (0,14)	115 (112)	9
<i>Platimiscium ulei</i>	t. colorada	0,96	<b>0,41</b>	0,17	*112	20
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	tajibo	0,63 (0,69)	<b>0,31 (0,33)</b>	0,11 (0,11)	128 (112)	12
<i>Promedio regional</i>		0,88 (0,75)	<b>0,38 (0,40)</b>	0,15 (0,18)	131 (112)	128

## 5. Discusión y conclusiones

Los bosques tropicales son altamente dinámicos en respuesta a las marcadas diferencias en sus tasas de crecimiento que alteran en forma rápida sus estructuras diamétricas, así como a los disturbios naturales o antrópicos a los que se ven sometidos (Lewis *et al.* 2004). Sin embargo, para evaluar los patrones de dinamismo forestal se requieren contar con datos de crecimiento de largo plazo (Villalba *et al.* 2006). Las parcelas permanentes representan una alternativa para obtener información sobre la dinámica de los bosques tropicales. Estas parcelas han permitido estimar el crecimiento de los bosques tropicales (Contreras *et al.* 1999, Dauber *et al.* 2005) y cuantificar los cambios en la composición de especies que los componen (Laurance *et al.* 2004). Sin embargo esta alternativa no siempre es posible, ya que requiere mucho tiempo y



esfuerzo de medición. Asimismo, los primeros resultados tendrán validez después del seguimiento de las parcelas por muchos años, inclusive décadas (Lieberman & Lieberman 1985).

Una alternativa recientemente empleada que brinda resultados rápidos y económicos, es el análisis de los anillos de crecimiento, de los cuales a través de la medición de sus anchos se obtienen datos confiables, muy precisos y aplicables a diferentes estudios ecológicos o de dinámica forestal. Los anillos de crecimiento brindan información sobre los incrementos en el crecimiento individual a lo largo de la vida de los árboles ((Brienen & Zuidema 2006a), información muy útil para realizar evaluaciones y estudios sobre manejo forestal sostenible (López 2003, Brienen & Zuidema 2006b, Schöngart 2008).

En la Amazonía boliviana, el análisis de los anillos de crecimiento de *Amburana cearensis*, *Bertholletia excelsa*, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga catenaeformis*, *Peltogyne* cf. *heterophylla* y *Tachigali vasquezii*, fue exitosamente empleado para conocer la edad cuando los árboles de esta especie alcanzan el DMC. Estas edades variaron entre 61 y 179 años (Brienen & Zuidema 2006b). La medición del ancho de los anillos también permitió estimar la variación en el tiempo, y conocer el volumen aprovechable después de la primera cosecha (Brienen & Zuidema 2006b, Brienen & Zuidema 2007).

En este capítulo, el estudio del crecimiento de los árboles a través de los anillos de crecimiento nos permitió establecer el rango de edades que alcanzan los árboles y el tiempo necesario para alcanzar los DMC establecidos para dos distritos biogeográficos del Cerrado Boliviano (Fig. 3.33). Este análisis permitió observar que las especies de árboles con mayor crecimiento en el distrito biogeográfico Chiquitano son *A. cearensis* y *C. fissilis*, cuyos ejemplares alcanzan en promedio los DMC de 40 cm establecidos por la ley Forestal Boliviana en 60–80 años. En cambio, *C. chodatiana* y *Z. tuberculosa*, especies con bajas tasas de crecimiento requieren entre 80–120 y 80–130 años de edad, respectivamente para alcanzar los DMC establecidos para este distrito. En forma general, ninguna de las especies pertenecientes a este distrito, alcanzan los DMC propuestos en edades menores a 64 y 127 años (Fig. 3.33).

Si bien, esta variabilidad podría atribuirse en parte a las diferencias en la calidad de sitio, los disturbios endógenos asociados a la dinámica de claros propias de estos bosques, seguramente tienen una alta contribución en esta variabilidad. Un ejemplo claro del efecto que los

disturbios asociados a la explotación forestal tienen sobre el crecimiento de los bosques tropicales fue reportado por Peña–Claros *et al.* (2008), donde se determinaron diferentes respuestas del bosque a distintas intensidades de intervención. Por lo tanto la variabilidad en los crecimientos máximos podría estar asociada directamente a disturbios de diferentes intensidades y a la capacidad de respuesta ante estos eventos por cada especie.

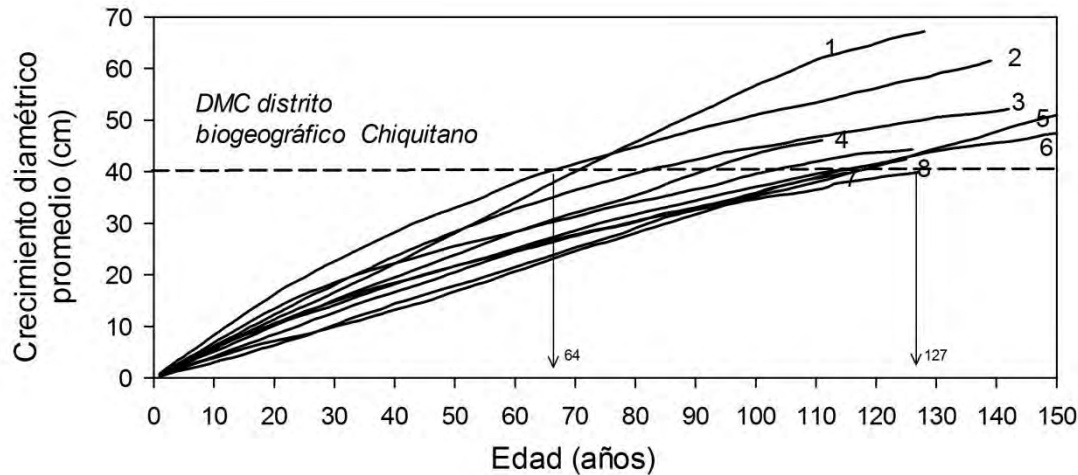


Figura 3.33. Crecimiento diamétricos promedios para especies del distrito biogeográfico Chiquitano, 1 *Amburana cearensis*, 2 *Cedrela fissilis*, 3 *Anadenanthera colubrina*, 4 *Platimiscium ulei*, 5 *Copaifera chodatiana*, 6 *C. microchaete*, 7 *Zeyheria tuberculosa* y 8 *Machaerium scleroxylon*. La línea con puntuaciones a 40 cm y las fechas indican el tiempo mayor y menor para llegar al DMC establecido por la Ley Forestal 1700.

Evidentemente el tiempo requerido para alcanzar DMC coincide con la mayoría de los datos reportados, donde sugieren que el tiempo necesario para alcanzar el DMC, está entre los 61–179 años (Brienen & Zuidema 2006b, Schöngart 2008).

En el distrito biogeográfico de Guarayos, las especies con las mayores tasas de crecimiento fueron *F. boliviana* y *C. microchaete* (localidad de Makanaté), estas especies alcanzaron los DMC entre los 40 y 80 años de edad. Los individuos de más rápido crecimiento de ambas especies alcanzaron 50 cm de diámetro a las edades de 40–50 y 70–90, respectivamente. En forma general, la mayoría de las especies de este distrito alcanzan los DMC a edades superiores a los 80 años.

Aún cuando la mayoría de las especies pertenecientes a este distrito, poseen una alta tasa de crecimiento diamétrico en comparación a otros distritos, ninguna especie alcanzaría los DMC en ciclos de rotación establecidos, ya que el tiempo promedio varía entre 41 y 86 años (Fig.

3.34), sugiriendo que el periodo de rotación de 20 o 25 años establecido por la Ley Forestal no responde a las velocidades reales de crecimiento del bosque. Es imperativo extender el periodo de rotación para evitar la sobre-explotación y degradación del bosque tropical de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano.

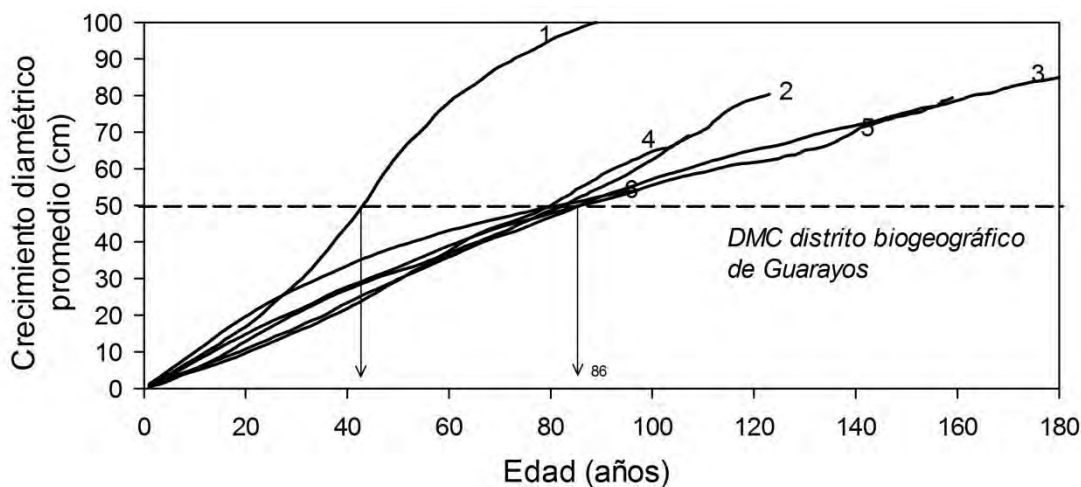


Figura 3.34. Crecimiento diamétrico promedio para especies del distrito biogeográfico de Guarayos. 1, *Ficus boliviana* 2 *Cariniana ianeirensis*, 3 *Hymenaea courbaril* 4, *Centrolobium microcheate* LC, 5 *Centrolobium microcheate* SM y 6 *Centrolobium microcheate* MK. La línea con puntuaciones a los 50cm y las fechas indican el tiempo mayor y menor para alcanzar el DMC.

Por lo tanto, este método basado en el análisis de los anillos de crecimiento constituye una fuente de información sobre las tendencias del crecimiento a largo plazo de las especies arbóreas, además mostró ser una herramienta fundamental para observar las diferencias existentes en el incremento entre sitios de estudio y la variación interanuales del crecimiento entre árboles de una misma especie a lo largo de su edad. A su vez, permite determinar con exactitud el rango de edades en las cuales los árboles alcanzan un diámetro determinado. Estas variaciones nos hacen sugerir que cada especie sea definida por separado, considerando las diferencias regionales y entre especies al momento de establecer pautas para el manejo racional de los bosques. Estas variaciones deberían tomarse con mucha precaución, sobre todo cuando se generaliza alguna pauta de manejo en diferentes regiones, como los CC de 25 años en el distrito de Guarayos y Chiquitos.

En cuanto a las tasas de crecimiento diamétrico, para especies del distrito biogeográfico Chiquitano, las que registraron mayor incremento anual fueron *A. cearensis* y *C. fissilis* en

ambos periodos de comparación. Por su parte, las especies con menor tasa de crecimiento anual corresponde a *Z. tuberculosa* y *C. chodatiana*, ambas con 0,31 cm en el periodo total de observación. Considerando los promedios generales para este distrito, obtenidos mediante los promedios de todas las especies en estudio, el valor fue 0,38 cm/año (Tabla 3.6). En cambio, para las especies del distrito biogeográfico de Guarayos, las tasas de crecimiento diamétrico anual más altas se registraron en *F. boliviana* con 1,01 cm/año, seguido por *C. ianeirensis* con 0,65 cm/año. El ritmo más bajo de crecimiento diamétrico corresponde a *H. courbaril*, especie que alcanzó 0,46 (0,57) cm en ambos periodos de comparación. El promedio de crecimiento diamétrico en este distrito es de 0,63 cm/año (Tabla 3.5). Las tasas de crecimiento diamétrico logrados en un periodos de 25 años solo alcanzaría 16 cm de diámetro. Si este incremento fuese incorporado durante la planificación del segundo ciclos de corte, solo aquellos ejemplares con diámetros superiores a 35 cm alcanzarían los DMC en esta segunda cosecha. Los tasas de crecimiento obtenidos a través de este análisis no son consistentes con los paradigmas y supuestos que las especies de los bosques nativos tropicales tienen un alto incremento anual de 1 cm/año, el que sería compatible con alcanzar tiempos de retorno en 20 años establecidos por la Ley Forestal. Claramente se puede observar que las actuales pautas de manejo forestal no cumplen con los principios de sostenibilidad a largo plazo. A pesar de que en algunas especies se ha observado que tienen incrementos anuales considerables, es muy difícil que la mayoría de las especies alcance 40 cm de diámetro en 25 años, tiempo actualmente empleado para los ciclos de rotación. Para este principio las especies tendrían que lograr tasas de crecimiento anual superiores a 1.6 cm de diámetro en el distrito de Chiquitos y mayores a 2 para especies del distrito de Guarayos, valores que no son consistentes con los reportados en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6.

Por su parte, las diferencias también son notables no solo entre especies si no que también entre sitios de muestreo. En particular, el crecimiento de *C. microchaete* en el distrito Chiquitano fue menor que en el distrito de Guarayos. En ambos distritos los valores máximos oscilaron entre 0,35 y 0,64 cm/año, valores correspondientes a las localidades de Concepción y Guarayos–La Chonta, respectivamente (Tabla 3.4).

Los ritmos de crecimiento reportados para *C. microchaete* de 0,29, 0,35 y 0,33 cm/año en las localidades de Concepción, Santa Anita, y Zapocó, respectivamente, son consistentes con las observaciones realizadas por Dauber *et al.* (2005), quienes también reportan velocidades

de 0,29–0,30; 0,30–0,35 y 0,32–0,31 cm/año, a través de medición realizadas en parcelas permanentes durante cuatro años ubicadas en la localidad de Concepción. Por su parte, los crecimientos de 0,49 cm, 0,55 cm y 0,64 cm/año para las localidades de Santa Mónica, Makanaté, y Guarayos–LC, respectivamente, son altamente consistentes con las observaciones realizadas por Dauber *et al.* (2005), quienes establecen crecimientos de 0,49–0,63 cm/año, a través de medición realizadas en parcelas permanentes situadas en Guarayos–LC. A su vez, los valores 0,64 cm/año reportados para Guarayos–LC, obtenidos empleando la misma metodología a la nuestra por López (2003), son similares a los valores observados en nuestro estudio.

Similaridades en los ritmos de crecimiento también se observan para *P. ulei*, con 0,41 cm/año, mientras que las observaciones realizadas por Dauber *et al.* (2005) reportan valores de 0,27–0,35 cm/año, basados en los promedios de cuatro años. El incremento medio anual de 0,44 cm/año que registramos para *C. fissilis*, también son consistentes con las observaciones realizadas por Dauber *et al.* (2005) quienes a través de mediciones realizadas en parcelas permanentes determinaron valores de crecimiento para esta especie de 0,36 cm/año. Valores similares se reportaron en el Noroeste Argentino donde el IMA fue de 0,60 cm/año para *Cedrela sp.* (Gasparri & Goya 2006). Posiblemente, las diferencias observadas se deben a que nuestro estudio considera periodos largos de medición (mayor de 20 y hasta 110 años), en cambio los valores reportados por Dauber *et al.* (2005), están basados en los promedios de cuatro años y los de Gasparri y Goya (2006) solamente en 1 año.

Sin embargo, nuestros registros de crecimiento para *A. cearensis* con 0,75 cm/año, *C. chodatiana* con 0,33 cm/año y *A. colubrina* con 0,36 cm/año, tienen valores sustancialmente mayores a las observaciones realizadas por Dauber *et al.* (2005), quien reportó un crecimiento medio de 0,31 cm; 0,15–0,18 cm y 0,29 cm/año, respectivamente, a través de mediciones periódicas realizadas en parcelas permanentes. Sin embargo, para *A. cearensis*, nuestros valores son similares a los reportados para el Norte Argentino (Calzón & Palma 2008), quienes empleando una metodología similar a la nuestra obtienen valores de 0,88 cm/año. Es muy probable que las diferencias observadas se deban sencillamente a que nuestro estudio está basado en largos periodos de crecimiento (mayor de 76 y hasta 130 años), en cambio los valores reportados por Dauber *et al.* (2005) están basados en cuatro años de crecimiento. El

estudio de Calzón y Palma (2008) se basa en mediciones sobre un período de 50 años en bosques del Norte Argentino.

En cambio, para *F. boliviana* nuestros valores son superiores a los resultantes de parcelas permanentes (Dauber *et al.* 2005). Probablemente la escasa cantidad de ejemplares incluidos para este análisis, hace que los valores sean mayores a las observaciones realizadas por Dauber *et al.* (2005), de 0,31 cm/año, a través de medición realizadas en parcelas permanentes. Sin embargo los valores 0,96 cm/año para, obtenidos empleando la misma metodología por López (2003), son similares a los valores observados en nuestro estudio. Aunque los valores obtenidos mediante nuestro método son mayores a los de Dauber *et al.* (2005) y López (2003), las diferencias observadas se deben a que nuestro estudio en general considera largos periodos de crecimiento (entre 27 y hasta 160 años), en cambio los valores reportados por Dauber *et al.* (2005), están basados en los promedios de cuatro y >30 años por López (2003).

Finalmente para *H. courbaril*, *M. scleroxylon*, *Z. tuberculosa* y *C. ianeirensis* no se encontraron ningún reporte sobre los ritmos de crecimiento para la región u otras áreas próximas a la misma. La incorporación de más ejemplares por especie y más sitios de muestreo aumentará la confiabilidad de los resultados presentados en este capítulo. El análisis de las variaciones del crecimiento en el tiempo revela que en la mayoría de las especies los incrementos diamétricos son más altos durante los primeros 60 años. No obstante este periodo podría ser mayor si la valoración del crecimiento se realiza en función del incremento en área basal que tiene en cuenta el efecto geométrico de la disminución del ancho de los anillos con el incremento en diámetro de los árboles (Capítulo 4). La mayoría de las especies presentan incrementos diamétricos máximos altos y sugieren que existe un alto potencial para aumentar la velocidad de crecimiento a través del diseño de algunos tratamientos silviculturales en los bosques nativos de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano.

## 6. Referencias

BOJANIC, A. 2002. Comercialización de productos forestales no maderables. Factores de éxito y fracaso. Marco legal y políticas relevantes para la comercialización interna y de exportación de productos no maderables en Bolivia. DFID R7925. PNUMA UNEPWCMC & ODI, DFID – FRP. Noviembre 2005 de: [http://quin.unep-wcmc.org/forest/ntfp/docs/Bolivia\\_policy\\_paper.pdf](http://quin.unep-wcmc.org/forest/ntfp/docs/Bolivia_policy_paper.pdf).

- BONINSEGNA, J. A., R. VILLALBA, L. AMARILLA, and J. OCAMPO. 1989. Studies on tree rings, growth rate and age-size relationship on tropical tree species in Misiones, Argentina. *IAWA Bulletin* 10: 161-169.
- BRIENEN, R. J. W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. *PROMAB Scientific Series* 10: PROMAB-Riberalta, Bolivia.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1-12.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006a. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Ecology* 94: 481-493.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006b. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226: 256-267.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 302-306.
- BRIENEN, R. J. W., P. A. ZUIDEMA, and H. J. DURING. 2006. Autocorrelated growth of tropical forest trees: unraveling patterns and quantifying consequences. *Forest Ecology and Management* 237: 179-190.
- CALZÓN, M. E., and R. M. PALMA. 2008. EL roble criollo. xxiii Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Argentina: 2-9
- CONTRERAS, F., C. LEAÑO, J. C. LICONA, E. DAUBER, L. GUNNAR, N. HAGER, and C. CABA. 1999. Guía para la Instalación y Evaluación de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPMs). BOLFOR, PROMABOSQUE, Santa Cruz, Bolivia 51.
- COOK, E. R., and K. PETERS. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45-53.
- DAUBER, E., T. S. FREDERICKSEN, and M. PEÑA. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294-304.
- DUNISCH, O., and L. GASPAROTTO. 2003. Formation of increment zones and intra-annual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* y *Cedrela Odorata* (Meliaceae) *IAWA* 23: 244-250.
- FRITTS, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London.
- GASPARRI, N. I., and J. F. GOYA. 2006. Modelos de crecimiento de *Cedrela lilloi* en el sector norte de las Yungas Argentinas. In: Pacheco, S. y Brown, A. (Eds.). *Ecología y producción de cedro (genero Cedrela) en las Yungas australes, Subtrópico*. Tucumán, Argentina: 59-81.
- HOLMES, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- JUSTINIANO, M. J., and T. FREDERICKSEN. 1998. *Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas—Tarara Amarilla *Centrolobium microchaete*, (C. Martius ex Benth.) Lima ex G. P. Lewis, Papilionoideae*. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- LAURANCE, W. F., H. E. M. NASCIMENTO, S. G. LAURANCE, R. CONDIT, S. D'ANGELO, and A. ANDRADE. 2004. Inferred longevity of Amazonian rainforest trees based on a long-term demographic study. *Forest Ecology and Management* 190: 131-143.
- LEWIS, S. L., O. L. PHILLIPS, D. SHEIL, B. VINCENT, T. B. BAKER, S. BROWN, A. W. GRAHAM, N. HIGUCHI, D. W. HILBERT, W. F. LAURANCE, J. LEJOLY, Y. MALHI, A. MONTEAGUDO, P. N. VARGAS, B. SONKE, N. SUPARDI, J. W. TERBORGH, and R. V. MARTINES. 2004. Tropical forest tree mortality, recruitment and turnover rates: calculation, interpretation and comparison when census intervals vary. *Journal of Ecology* 92: 929-944.
- LIEBERMAN, M., and D. LIEBERMAN. 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. *Ecology* 66: 632-635.
- LÓPEZ, L. 2003. Estudio de anillos de crecimiento en once especies forestales de Santa Cruz—Bolivia. U. A. G. R. M., proyecto BOLFOR: 147.
- LÓPEZ, L., R. VILLALBA, and M. PEÑA-CLAROS. 2009. Relación entre el crecimiento de *Centrolobium microchaete* y las variables climáticas en bosques tropicales de Bolivia. *Actas del Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina*: 176.
- MDSMA. 1997. Nueva Ley Forestal. Ley N° 1700 del 12 de julio de 1996. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente: La Paz, Bolivia.
- NAVARRO, G., and MALDONADO. 2004. *Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Centro de Ecología Simón Patiño Santa Cruz, Bolivia: 3:101 - 155.
- PEÑA-CLAROS, M., E. M. PETERS, M. J. JUSTINIANO, F. BONGERS, G. M. BLATE, T. S. FREDERICKSEN, and F. E. PUTZ. 2008. Regeneration of commercial tree species following silvicultural treatments in a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management* 255: 1283-1293.

- SCHÖNGART, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* 256: 46-58.
- VILLALBA, R., S. DELGADO, M. DE MEMBIELA, and D. MENDOZA. 2006. Variabilidad interanual de los caracteres anatómicos en el leño de *Cedrela lilloi* en el noroeste de Argentina. *In: Pacheco, S. y Brown, A. (Eds.). Ecología y producción de cedro (genero Cedrela) en las Yungas australes, Subtrópico. Tucumán, Argentina: 59-81.*
- WORBES, M., and W. JUNK. 1999. How old are tropical trees? The persistence of a myth. *IAWA* 20: 255-260.



## CAPÍTULO IV

---

### CRECIMIENTO BASAL Y TURNOS BIOLÓGICOS DE CORTE PARA ESPECIES FORESTALES DEL CERRADO BOLIVIANO



#### Tabla de contenidos

---

1. Introducción.....	122
2. Materiales y métodos.....	124
2.1. Crecimiento en área basal.....	124
2.2. Turnos Biológicos de Corte (TBC).....	125
3. Resultados.....	127
3.1. Crecimiento basal acumulado y turnos biológicos de corte.....	127
3.2. Tasas de crecimiento en área basal para las 11 especies forestales.....	159
4. Discusión de los resultados.....	162
5. Referencias.....	169

## Resumen

Este capítulo presenta información sobre las tasas de incremento y crecimiento basal tanto medio como corriente anual (ICABA e IMABA) para las 11 especies forestales en estudio. Para cada especie se determinan las edades promedios en el cual los árboles alcanzan sus máximos crecimientos corrientes y medios. Finalmente en base a estas estimaciones se establece los Turnos Biológicos de Corte (TBC) para cada una de las especies estudiadas. Realizase brinda además una breve discusión sobre los resultados obtenidos y sus implicancias para el manejo forestal de los bosques tropicales del Cerrado Boliviano.

### 1. Introducción

El reciente interés mundial por la sostenibilidad de los bosques tropicales ha puesto en evidencia la necesidad de obtener información sobre tasas de crecimiento de los árboles tropicales. Los objetivos finales son el establecimiento de pautas apropiadas para el manejo de las masas forestales en los trópicos como un recurso renovable en el largo plazo. Si bien se han establecido criterios de manejo introduciendo los conceptos de ciclos de rotación y diámetros mínimos de corta (DMC), en la actualidad el principio básico que sustenta el uso forestal de estas regiones está dado principalmente por la factibilidad económica de la extracción de madera comercial (Campos *et al.* 2001). A su vez, la mayoría de las pautas de manejo están basadas en hipótesis y supuestos teóricos, nunca evaluados con datos reales de campo (López 2003, Dauber *et al.* 2005, Brien *et al.* 2006b). En la mayoría de los casos, estos supuestos no han garantizado la sustentabilidad ni la producción continua de madera a niveles comercialmente aceptables (Campos *et al.* 2001). En algunas áreas manejadas de los bosques disetáneos tropicales, los ciclos de corte establecidos son tan cortos que ponen en duda la sostenibilidad de un bosque, inclusive a mediano plazo (Appanah *et al.* 1990). Teóricamente, los ciclos de corte son el intervalo de retorno entre aprovechamientos dentro de una misma área. La aplicación de ciclos de corte pretende lograr un flujo sostenible de madera dividiendo el área total de corta permisible en un bosque manejado entre los años de duración del ciclo de corta. En la práctica, sin embargo, los ciclos de corte y los límites diamétricos (DMC) no guardan ninguna consistencia con el tiempo necesario que requieren las especies para pasar de una clase diamétrica a la siguiente. Las

estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, suponen que los árboles alcanzan tasas altas de crecimiento y condiciones extremadamente favorables, de forma tal que pueda extraerse mayor cantidad de madera en una primera cosecha, con el supuesto que 25 años como ciclo de corta es suficiente para recuperar toda la biomasa leñosa extraída.

Investigaciones realizadas recientemente estiman que en bosques tropicales secos de lento crecimiento y aprovechados selectivamente, los ciclos de corta deberían ser mayores a los 100 años (Appanah *et al.* 1990, Brien *et al.* 2006a, Schöngart 2008). A su vez, recientemente se ha puesto énfasis en que los límites diamétricos o los DMC deberían establecerse en función a la capacidad productiva de cada especie en una determinada área (López 2003, Brien *et al.* 2006b, Schöngart 2008) y que no deberían generalizarse a toda una región forestal como lo hace la presente Ley Forestal de Bolivia.

La escasa información sobre las tasas de crecimiento de los árboles en el largo plazo y la necesidad de contar rápidamente con datos reales para establecer pautas de manejo sostenible, pone de manifiesto la urgencia por encontrar métodos que brinden datos sobre la historia del crecimiento de una especie en particular en el corto tiempo. Los anillos de crecimiento proporcionan en forma inmediata datos fiables sobre las tasas de crecimiento y por lo tanto tienen una relevancia directa para la gestión forestal sostenible (Brien 2005, Brien *et al.* 2005, Schöngart 2008). Estudios dendrocronológicos con especies de maderas de baja densidad creciendo en la Amazonía Central, indican que los DMC se alcanzan entre los 15–67 años (Schöngart 2008). Por el contrario, las especies con maderas de alta densidad necesitan para alcanzar los DMC, en promedio, entre 106 y 151 años (Schöngart 2008). Otros estudios recientes en cinco especies forestales de la Amazonía Boliviana indican que para alcanzar los DMC se requirieron entre 61 y 179 años (Brien *et al.* 2006a).

El presente estudio, basado en el análisis de los anillos de crecimiento, tiene como propósito dar respuesta a algunos de los interrogantes que plantean los planes de “manejo forestal sostenible” actualmente empleados en Bolivia. En el presente capítulo se detallan los crecimientos acumulados en área basal para las 11 especies estudiadas en los diferentes sitios de muestreo. A su vez, a partir de la estimación de los incrementos corrientes anuales (ICA) y medios anuales (IMA) en área basal por especie se estiman los turnos biológicos de corte (TBC). Los TBC son una medida que maximiza la producción maderera independiente de su rentabilidad económica. 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 hubiese permitida alcanzar la potencialidad de su máximo crecimiento. A su vez, postergando 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 de esa especie en un lugar determinado. Esta idea de TBC también está asociada con la conservación a largo plazo de los bosques, 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. Como indicamos anteriormente, este momento no depende del valor económico de la madera, pero en un mercado con precios estables debería haber una correspondencia entre los TBC y los de máxima rentabilidad económica.

## 2. Materiales y métodos

Para lograr los objetivos propuestos en el presente capítulo, tomamos como base los datos del crecimiento diamétrico de las 11 especies forestales muestreadas en la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano explicitados en el capítulo anterior.

### 2.1. Crecimiento en área basal

A partir de las mediciones radiales del ancho de los anillos de crecimiento, los datos de crecimiento radial (expresados en milímetros) fueron transformados a crecimientos diamétricos (expresados en centímetros) y luego a incrementos de área basal (expresados en  $m^2$ ). Para este proceso se empleó el programa AGE (DPL) desarrollado para este fin (Holmes 1983). El área basal (AB) para un radio  $r$  resulta ser igual a

$$AB = \pi \cdot r^2$$

Los incrementos corrientes anuales en área basal (*ICABA*), correspondiente al incremento en área basal para un año dado, se calculan restando al área basal en el año  $a_n$  el área que tenía el árbol el año anterior  $a_{n-1}$ . Basándonos en la ecuación anterior, tendríamos que el incremento corriente en área basal en el año  $n$  es igual a:

$$ICABA_n = \pi (r_n^2 - r_{n-1}^2)$$

Donde  $r_n$  y  $r_{n-1}$  son los radio en los años  $n$  y  $n-1$ , respectivamente. Los valores del incremento medio anual en área basal (*IMABA*) en un año determinado  $n$  se calculan dividiendo el área basal acumulada al año  $n$  por  $n$ . Por lo tanto

$$IMABA_n = \frac{\pi \cdot r_n^2}{n}$$

Donde  $r_n$  es el radio en el año  $n$  considerado. Una vez calculados los valores de *ICABA* e *IMABA* para cada año de crecimiento, éstos fueron graficados por especie, señalando los valores promedios y los árboles con mayor y menor crecimiento basal acumulado. En los gráficos también se explican las variaciones existentes entre valores de mayor y menor crecimiento. Cuando todos los individuos alcanzan una determinada edad y sus valores son superiores a cuatro veces entre individuos con mayor y menor crecimiento, se considera como una amplia variabilidad. En cambio, cuando todos los individuos tienen una misma tendencia en el largo plazo, presentan poca variabilidad entre individuos con menor y mayor crecimiento, se considera como escasa.

Promediando los crecimientos acumulados de todos los individuos de una especie en un sitio dado se determino la producción media en área basal por especie. La producción estimada representa la capacidad productiva que posee una especie en una determinada región, la misma fácilmente puede ser aplicable para la determinación de otros parámetros de producción. Mediante una simple cuantificación empleando los valores de la producción en área basal por especie y considerando el número de árboles por hectárea determinados para la región en otros estudios (Mostacedo *et al.* 2009), se estimo la capacidad productiva que tienen las especies forestales estudiadas por hectárea en una región determinada.

## 2.2. Turnos Biológicos de Corte (TBC)

Los valores de *IMABA* e *ICABA* ajustados fueron empleados para estimar los diámetros óptimos de corte siguiendo un criterio biológico o de máxima productividad leñosa. Desde el punto de vista silvícola, el turno es el tiempo que necesita una especie desde su germinación para alcanzar la edad de corte. El turno de mayor productividad biológica, que puede o no

coincidir con un criterio comercial de la máxima renta, se alcanza cuando el incremento medio anual iguala al crecimiento corriente anual. En general esta información es valiosa para el manejo de las masas forestales ya que coincide con la edad en la cual el árbol alcanza la tasa máxima media de incremento en área basal (Mutarelli 1964, Assmann 1970, Villalba *et al.* 2006). En todos los casos que se presentan en este capítulo, las estimaciones de *ICABA* e *IMABA* están basadas en las mediciones provenientes de al menos 5 árboles de una misma especie en un mismo sitio (replicación  $\geq 5$  individuos).

Con el propósito de reducir la variabilidad interanual en las variaciones del *ICABA*, los valores interanuales fueron suavizados empleando diferentes métodos de ajuste. Uno de los métodos consistió en el uso de filtros digitales, en este caso un filtro spline con una ventana de 25 años (Cook & Peters 1981). Este suavizado se realizó con el programa AGE de la Librería de Programas en Dendrocronología (DPL) elaborada por R.L. Holmes (1993). Asimismo, y siguiendo los métodos tradicionalmente empleados en silvicultura, los valores de *ICABA* fueron también ajustados a funciones de tipo Log-normal y Weibull (Weibull 1939, Zeide 1993, Vanclay 1995, Nanang 1997). Estas ecuaciones fueron resueltas mediante técnicas de regresión no lineal, a través de interacciones múltiples empleando la ventana estadística de Sigma Plot. Las ecuaciones respectivas se indican en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Ecuaciones de regresión no lineal aplicadas a los valores observados de *ICABA*.  $n_0$  y  $n$  son el año inicial y el final respectivamente, mientras que  $a, b$  y  $c$  son los parámetros de la ecuación a calcular.

Denominación	Ecuaciones
Log-normal	$ICABA = \frac{a}{n} \exp \left[ -0,5 \left( \frac{\ln \left( \frac{n}{n_0} \right)}{b} \right)^2 \right]$
Weibull	$ICABA = a \left( \frac{1-c}{c} \right)^{\frac{1-c}{c}} \left[ \frac{n-n_0}{b} + \left( \frac{c-1}{c} \right)^{\frac{1}{c}} \right]^{c-1} - c \left[ \frac{n-n_0}{b} + \left( \frac{c-1}{c} \right)^{\frac{1}{c}} \right] + \frac{c-1}{c}$

En general, estas dos ecuaciones permiten captar con bastante precisión la distribución del *ICABA* a lo largo del tiempo. Los estadísticos que dan una medida de los ajustes Weibull y Log-normal a los datos de *ICABA* observados son reportados para cada una de las especies estudiadas. En base a las ecuaciones de Weibull y Log-normal se establecieron las fechas en que el *ICABA* alcanza sus máximos valores en el tiempo. Finalmente, para cada una de las

especies y sitios estudiados se graficaron los valores de *ICABA* e *IMABA* con sus respectivos ajustes de Weibull y Log-normal. Siguiendo a Assmann (1970), el turno biológico de corta estaría dado por el punto donde las curvas de *ICABA* e *IMABA* se interceptan o se cortan.

### 3. Resultados

#### 3.1. Crecimiento basal acumulado y turnos biológicos de corte

A partir de la información proveniente de la medición de los anillos de crecimiento de los árboles se calcularon los Incrementos Medios Anuales (*IMABA*) y los Incrementos Corrientes Anuales (*ICABA*) en área basal para cada individuo. Para facilitar la interpretación de los resultados, tanto los valores de *IMABA* como de *ICABA* fueron graficados para cada uno de los árboles de las especies en estudio. Esto se realizó para poder visualizar la variabilidad en el crecimiento entre individuos de una misma especie creciendo en el mismo sitio. Los crecimientos basales individuales fueron promediados por especie los cuales se emplearon para estimar los turnos biológicos de rotación de las especies estudiadas para los seis sitios de estudio.

##### *Amburana cearensis*

En la Figura 4.1 se representan los crecimientos basales acumulados de 18 individuos de *Amburana cearensis* provenientes de la localidad de Santa Anita. En esta especie se observa una amplia variabilidad en el crecimiento basal acumulado con individuos que a los 110 años alcanzaron  $0,70 \text{ m}^2$  aproximadamente, mientras que otros individuos, tuvieron un crecimiento basal acumulado de  $0,20 \text{ m}^2$  (4 veces menor) en el mismo periodo de tiempo (Fig. 4.1).

El crecimiento medio basal a la edad de 76 años, cuando todos los árboles del rodal han sido incluidos, es de  $0,30 \text{ m}^2$ ; mientras que a los 110 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio fue al menos de 5 ejemplares, es de  $0,60 \text{ m}^2$ .

Los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*), ajustados por Weibull y Log-Normal, muestran que los árboles de *Amburana cearensis* en la localidad de Santa Anita alcanzan un incremento máximo en área basal ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 90 y 95 años de edad. El incremento de área basal medio anual alcanza un máximo ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) de crecimiento a los 111 años (Fig. 4.2).

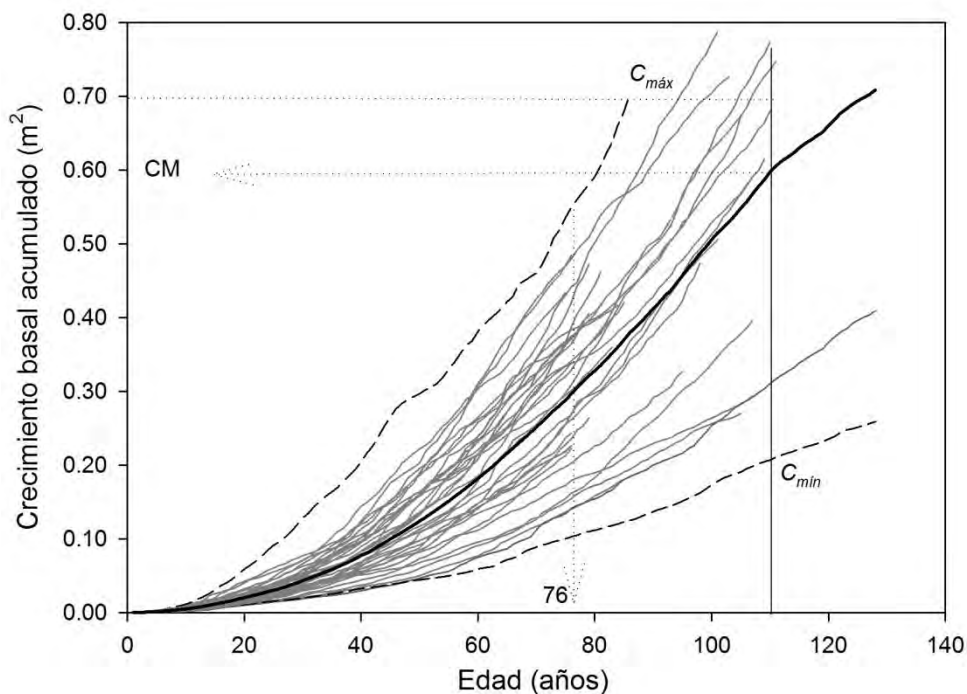


Figura 4.1. Crecimiento en área basal acumulada de 18 individuos de *Amburana cearensis* provenientes de la localidad de Santa Anita. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales por radio en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal (76 años), en tanto que la línea vertical a los 110 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

El ajuste de los datos observados empleando ecuaciones de Weibull y/o Log-normal muestran que las curvas teóricas de crecimiento explican 91% ( $r^2=0,91$ ;  $p<0,006$ ) y 88% ( $r^2=0,88$ ;  $p<0,005$ ) de la variancia total en la evolución temporal del ICABA, respectivamente. A los 122 años la curva de IMABA es cortada por la de ICABA, proveyendo una estimación teórica del turno biológico de corte para esta especie en la localidad de Santa Anita, Santa Cruz, Bolivia.



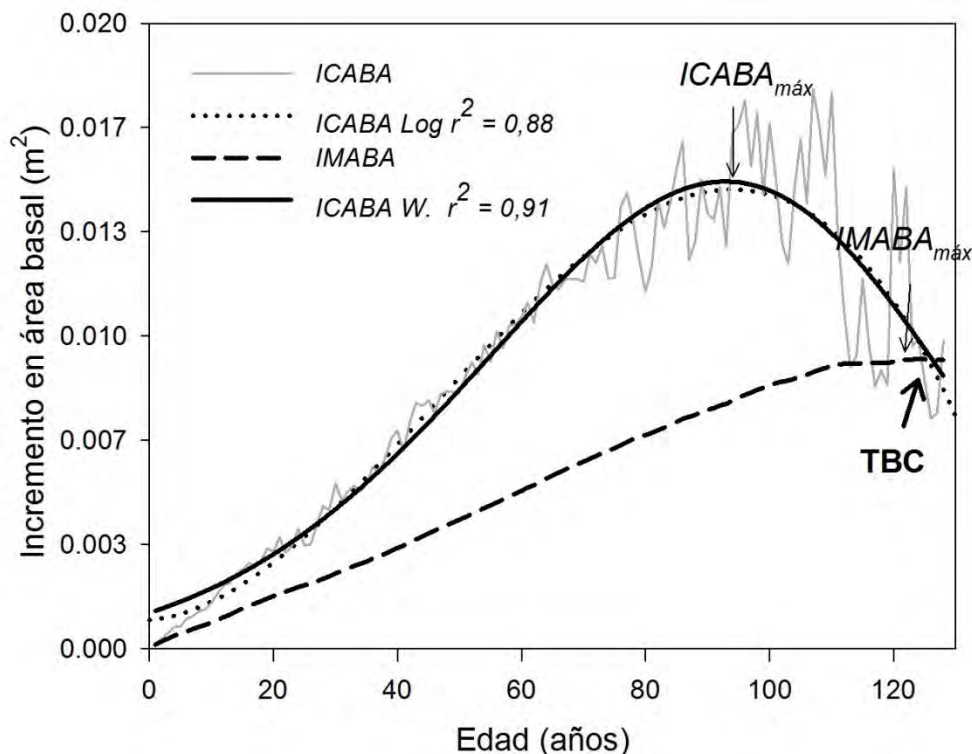


Figura 4.2. Turno Biológico de corte (TBC) para *Amburana cearensis* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 18 árboles de esta especie en la localidad de Santa Anita. A la edad de 122 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* indicando el momento para el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas ( $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$ ), sugieren el momento de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. *ICABA* Log  $r^2=0,88$  e *ICABA* W.  $r^2=0,91$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### *Anadenanthera colubrina*

La Figura 4.3 muestra los crecimientos basales acumulados de 31 árboles de *Anadenanthera colubrina*, colectados en la localidad de Concepción, Santa Cruz. Se observa una extensa variabilidad en el crecimiento basal acumulado con individuos que en 100 años alcanzan 0,42 m<sup>2</sup> aproximadamente, mientras que otros para el mismo periodo, sólo alcanzaron un crecimiento basal acumulado de 0,28 m<sup>2</sup>. El crecimiento medio basal a la edad de 70 años, cuando todos los individuos del rodal son incluidos en el promedio, es de 0,22 m<sup>2</sup>; mientras que a los 100 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio alcanza 5 ejemplares, es de 0,32 m<sup>2</sup> (Fig. 4.3).

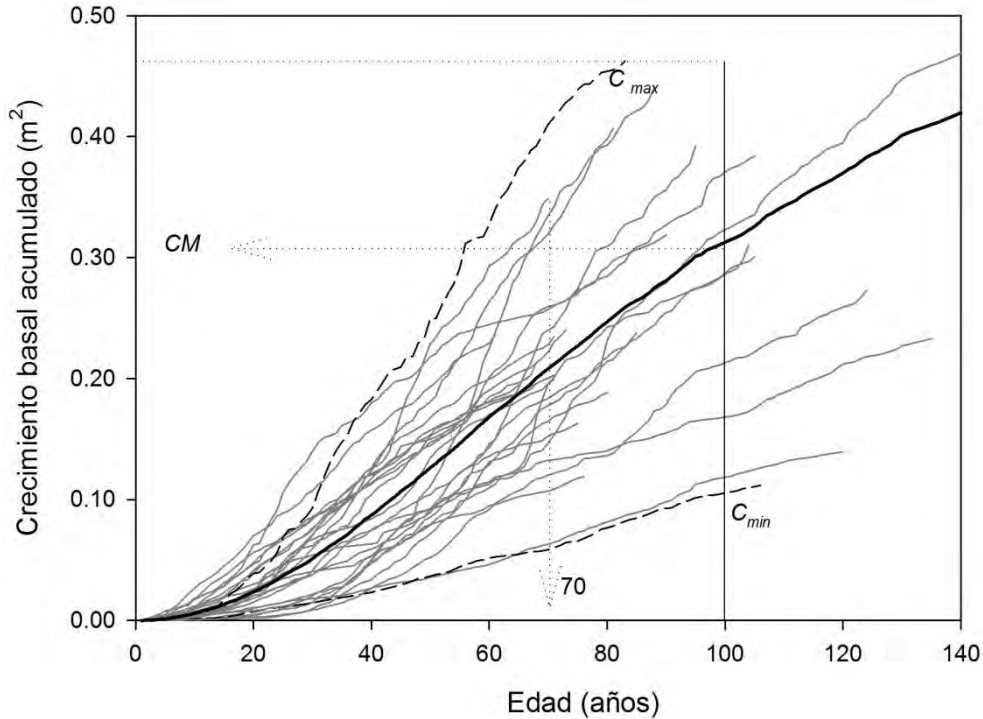


Figura 4.3. Crecimiento en área basal acumulada de 31 individuos de *Anadenanthera colubrina* provenientes de la localidad de Concepción (Inpa). Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 100 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

Los valores del incremento corriente anual ajustado en área basal (*ICABA*), ajustados por Log-normal y Weibull muestran que los árboles de *Anadenanthera colubrina* en la localidad de Concepción (Inpa) alcanzan un incremento máximo en área basal ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 60 y 70 años de edad. El incremento medio anual en área basal ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ), alcanza un máximo de crecimiento a los 108 años (Fig. 4.4).

El ajuste de las funciones Weibull y Log-normal a los datos de *ICABA* es significativo, con valores del coeficiente de determinación de  $r^2=0,71$  ( $p < 0,001$ ) y  $r^2=0,70$  ( $p < 0,001$ ), respectivamente. A los 101 años ambos ajustes del *ICABA* son cortados por el *IMABA*, representando de esta manera una estimación teórica del turno biológico de corte para esta especie en la localidad de Concepción.

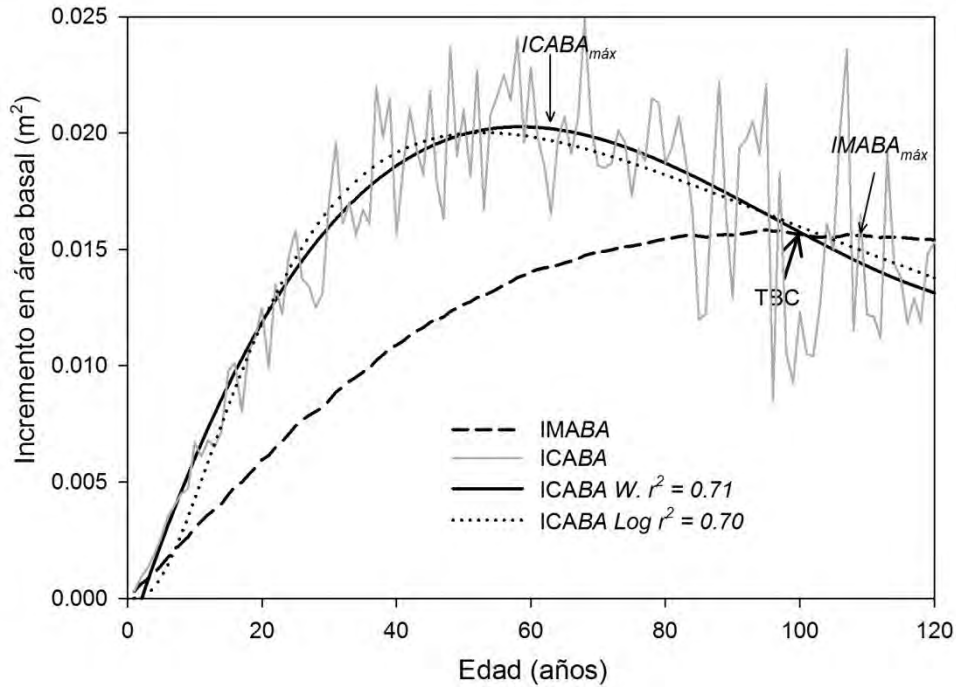


Figura 4.4. Turno Biológico de corte (TBC) para *Anadenanthera colubrina* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 31 árboles de esta especie en la localidad de Concepción. A la edad de 101 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* indicando el momento para el TBC (flecha gruesa). Las flechas delgadas correspondientes a *ICABA*<sub>máx</sub> e *IMABA*<sub>máx</sub> sugieren el momento de mayor productividad leñosa corriente y acumulada para esta especie, respectivamente. *ICABA* Log  $r^2=0,70$  e *ICABA* W.  $r^2=0,71$ , corresponde a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

***Cariniana ianeirensis***

La Figura 4.5 muestra los crecimientos basales acumulados de los 9 árboles de *Cariniana ianeirensis* colectados en la localidad de Guarayos-LC. Al igual que para las otras especies estudiadas, las variaciones en el crecimiento basal acumulado muestran importantes diferencias entre los 9 ejemplares muestreados, con individuos que a los 80 años alcanzaron 0,77 m<sup>2</sup> de área basal, mientras que otros individuos para el mismo periodo, sólo alcanzaron un crecimiento acumulado de 0,32 m<sup>2</sup>. El crecimiento medio basal a los 62 años, cuando los 9 árboles del rodal están incluidos, es de 0,35 m<sup>2</sup>; mientras que a los 80 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio alcanza a 5 ejemplares, es de 0,56 m<sup>2</sup> (Fig. 4.5).

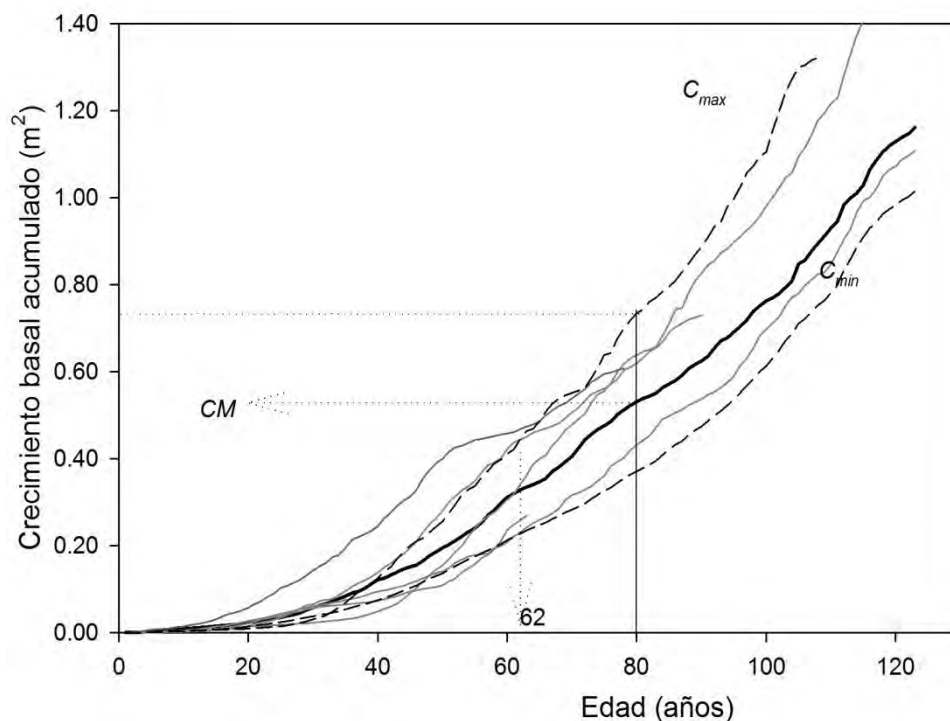


Figura 4.5. Crecimiento en área basal acumulada de 9 individuos de *Cariniana iairensis* provenientes de la localidad de Guarayos–La Chonta. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de los 9 individuos. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 80 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal integran el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

En la Figura 4.6 se han graficados las variaciones interanuales del incremento corriente anual en área basal ( $ICABA$ ) y sus respectivos ajustes a funciones Weibull y Log–normal. En base a estos ajustes, estimamos que los árboles de *Cariniana ianeirensis* en la localidad de Guarayos–La Chonta alcanzan un incremento basal máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 70 y 82 años de edad, aproximadamente. El incremento medio anual en área basal alcanza su máximo valor ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) probablemente después de los 109 años (Fig. 4.6). Sin embargo, todas estas estimaciones deben tomarse con cuidado dado el número muy reducido de ejemplares incluidos en estos análisis.

El ajuste de los crecimientos basales a las funciones Weibull y Log–normal arrojan coeficientes de determinación de  $r^2=0,58$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,89$  ( $p<0,005$ ). Aún cuando ambos son significativos, los estadísticos indican que el ajuste de los datos a la función Log–normal es más preciso. A la edad de 105 años la curva del  $IMABA$  es cortada por los valores ajustados

del *ICABA* a la función Log-normal, proveyendo una estimación teórica del turno biológico de corte para esta especie en la localidad de Guarayos-La Chonta.

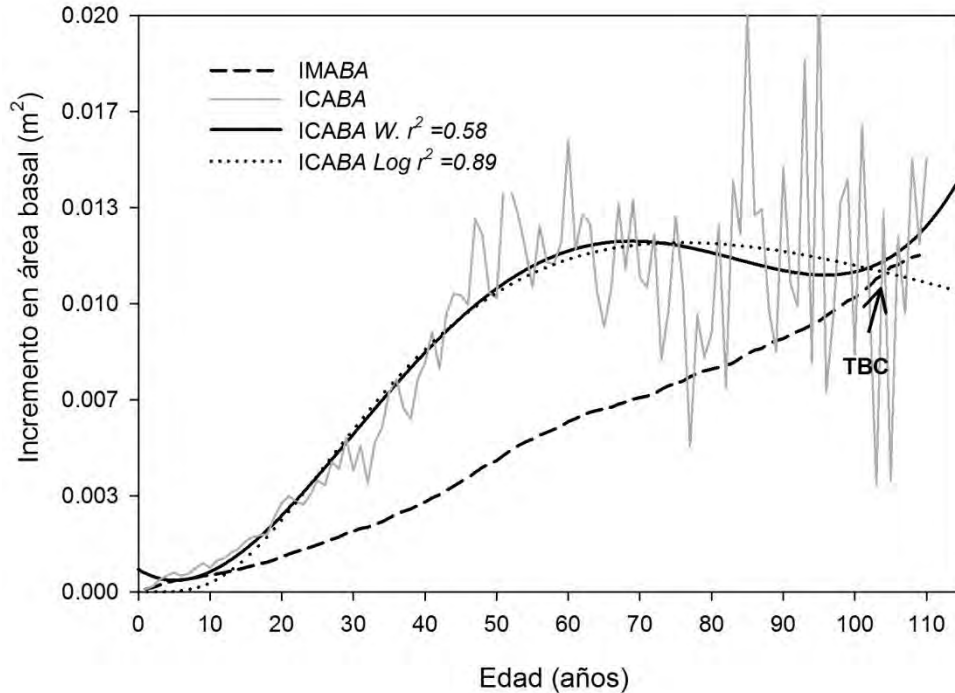


Figura 4.6. Turno Biológico de corte (TBC) para *Cariniana iaiensis* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 9 árboles de esta especie en la localidad de Guarayos-La Chonta. A la edad de 105 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* sugiriendo el momento de ocurrencia del TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas (*ICABA<sub>máx</sub>* e *IMABA<sub>máx</sub>*), indican el momento de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. *ICABA* Log  $r^2=0,89$  e *ICABA* W.  $r^2=0,58$ , corresponde a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### *Cedrela fissilis*

En la Figura 4.7 se presentan los crecimientos basales acumulados de 20 individuos de *Cedrela fissilis* provenientes de la localidad de Santa Anita, Santa Cruz, Bolivia. Se observa una amplia variabilidad en el crecimiento basal acumulado con individuos que a los 105 años alcanzan cerca de  $0,51 \text{ m}^2$  aproximadamente, en tanto que otros sólo alcanzaron un crecimiento basal acumulado de  $0,16 \text{ m}^2$  durante el mismo período. El crecimiento medio basal a la edad de 40 años, cuando los 20 individuos fueron incluidos, alcanza  $0,10 \text{ m}^2$ ;

mientras que a los 105 años, cuando 5 individuos fueron incluidos en el promedio, es de 0,38 m<sup>2</sup> (Fig. 4.7).

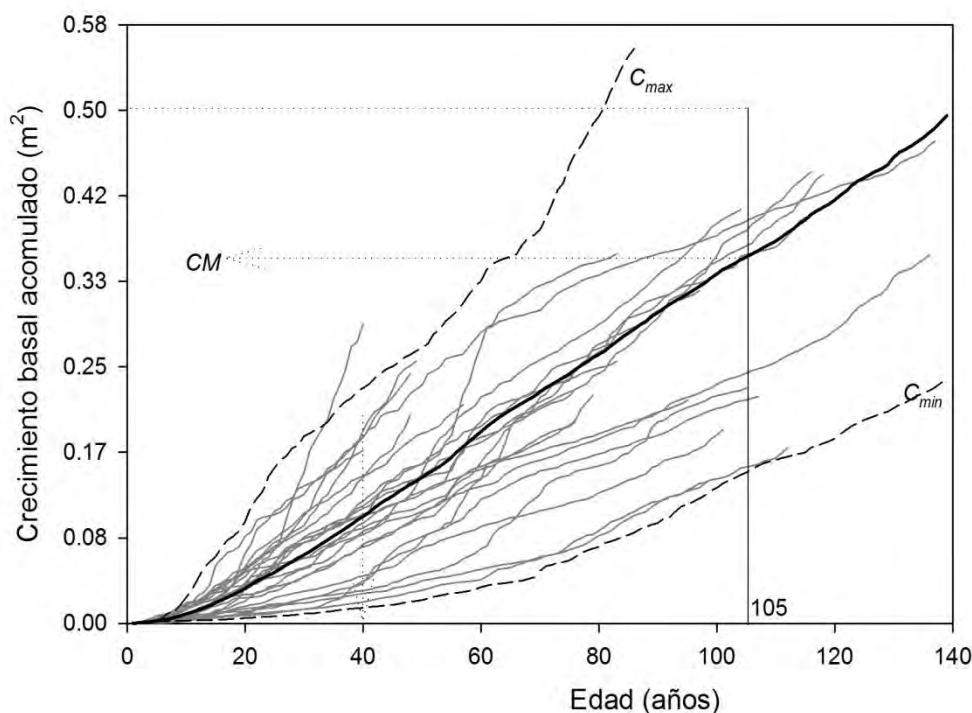


Figura 4.7. Crecimiento en área basal acumulada de 20 individuos de *Cedrela fissilis* provenientes de la localidad de Santa Anita. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 105 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

La Figura 4.8, presenta a los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*), ajustados por Weibull y Log–Normal y muestran que los árboles de *Cedrela fissilis* en la localidad de Santa Anita alcanzan un incremento máximo (*ICABA<sub>máx</sub>*) entre los 60 y 70 años de edad aproximadamente. El incremento en área basal medio anual alcanza un máximo (*IMABA<sub>máx</sub>*) de crecimiento aproximadamente a los 102 años.

El ajuste de Weibull y Log–normal a los datos de *ICABA* fue altamente significativo con  $r^2=0,77$  ( $p < 0,006$ ) y  $r^2=0,75$ , ( $p < 0,001$ ), en ambos casos respectivamente. Aproximadamente los 105 años la curva del *IMABA* es cortada por ambos valores ajustados del *ICABA*, brindando una estimación posible del turno biológico de corte para esta especie en la localidad de Santa Anita.

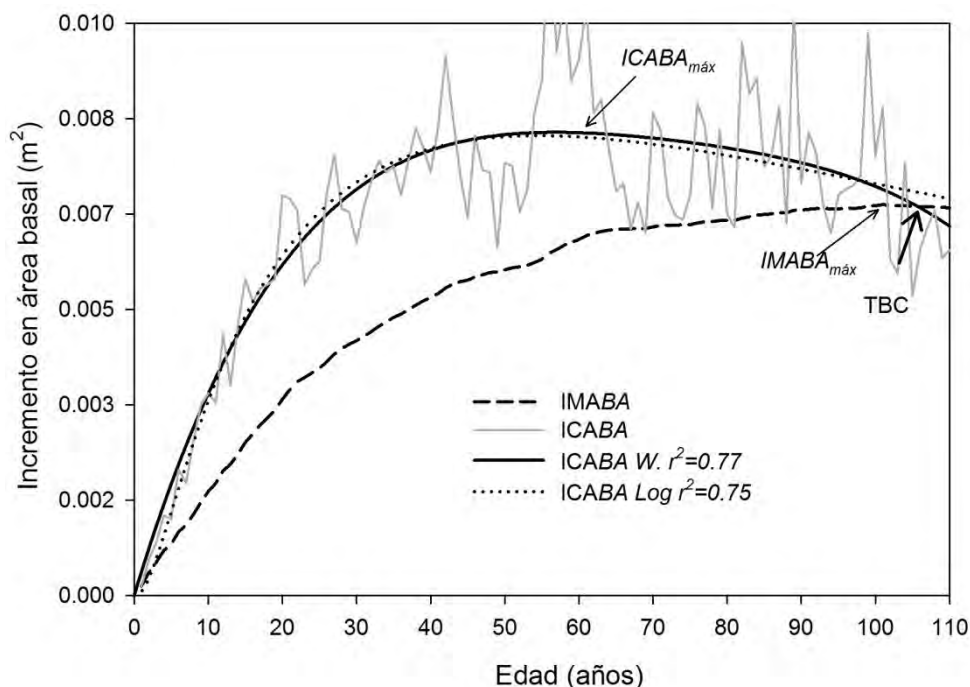


Figura 4.8. Turno Biológico de corte (TBC) para *Cedrela fissilis* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (ICABA) y medio anual (IMABA) de 20 árboles de esta especie en la localidad de Santa Anita. A la edad de 105 años los valores del ICABA interceptan a los del IMABA indicando el momento de ocurrencia del TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas ( $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$ ), sugieren el momento de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. ICABA Log  $r^2=0,75$  e ICABA W.  $r^2=0,77$ , corresponde a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### ***Centrolobium microcheate***

Como se indica en los capítulos anteriores, individuos de *Centrolobium microcheate* fueron colectados en seis localidades de la Chiquitanía en Bolivia. Por lo tanto, los análisis de crecimiento basal y los turnos biológicos de corte se presentan individualmente por localidad de muestreo.

### **Concepción**

Los crecimientos basales acumulados de 35 árboles de *Centrolobium microcheate* colectados en la localidad de Concepción se presentan en la Figura 4.9. Estos valores son substancialmente menores a los registrados en las especies anteriormente analizadas. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores se observa una importante variabilidad en el crecimiento. Así, mientras algunos individuos alcanzan a los 120 años un crecimiento

acumulado de  $0,27 \text{ m}^2$  aproximadamente, otros individuos en el mismo periodo sólo alcanzaron  $0,10 \text{ m}^2$ . El crecimiento medio basal a la edad de 83 años, último año para el que se dispone de los valores de crecimiento de todos los individuos del rodal. Fue de  $0,14 \text{ m}^2$ ; mientras que a los 120 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio fue de 5 ejemplares, es  $0,23 \text{ m}^2$  (Fig. 4.9).

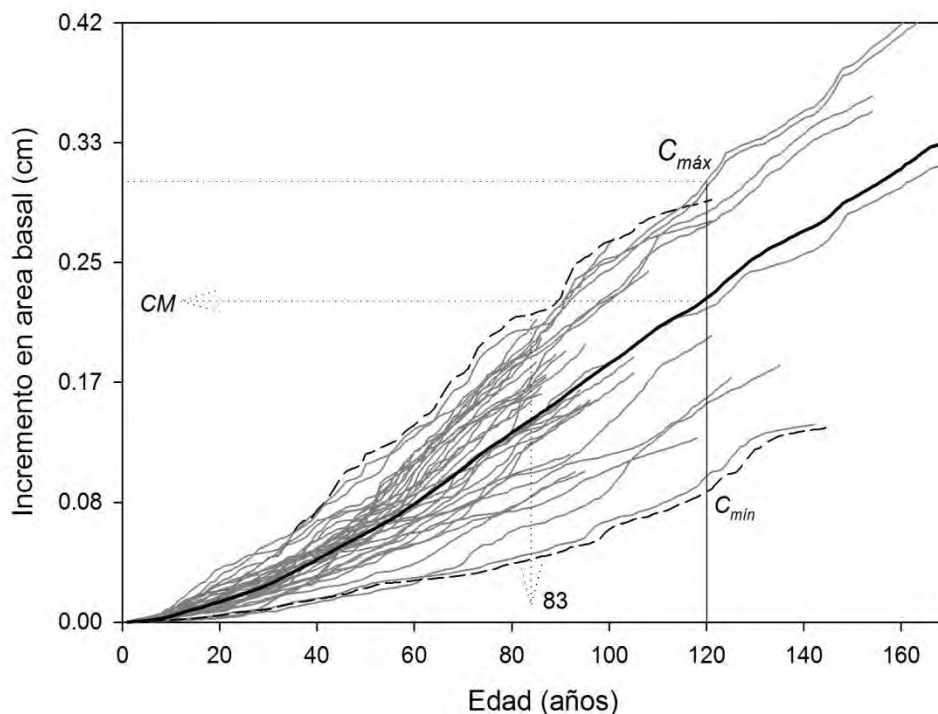


Figura 4.9. Crecimiento en área basal acumulada de 35 individuos de *Centrolobium microcheate* provenientes de la localidad de Concepción. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 120 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

La Figura 4.10 presenta los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*), y los ajustes de estos datos observados empleando las funciones de Weibull y Log-normal. En base a estos ajustes observamos que los árboles de *Centrolobium microcheate* en la localidad de Concepción alcanzan un incremento corriente máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 90 y 100 años



de edad. El incremento en área basal media anual ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) alcanza su máximo valor aproximadamente a los 134 años.

Los ajustes de las funciones Weibull y Log-normal a los datos de  $ICABA$  fueron buenas con coeficientes de determinación de  $r^2=0,80$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,75$ , ( $p<0,001$ ), respectivamente. Aproximadamente a los 145 años, la curva de  $IMABA$  corta a la curva de mejor ajuste (Weibull) del  $ICABA$ , proveyendo una estimación teórica para el turno biológico de corte de  $C. microcheate$  en la localidad de Concepción.

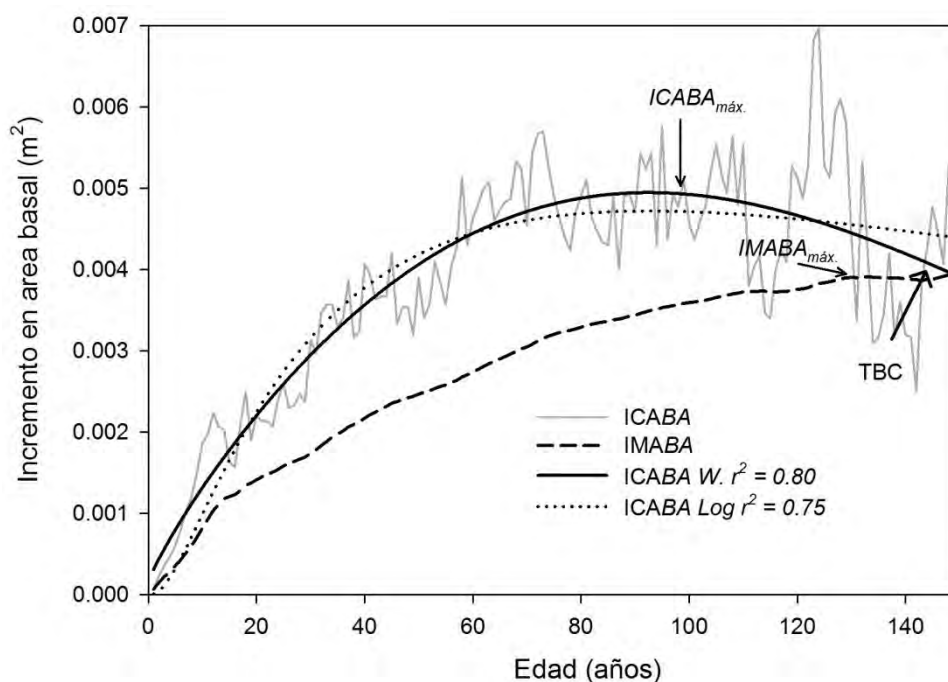


Figura 4.10. Turno Biológico de corte (TBC) para *Centrolobium microcheate* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente ( $ICABA$ ) y medio anual ( $IMABA$ ) obtenidos a partir de 35 árboles de esta especie provenientes de la localidad de Concepción. A la edad 145 años los valores del  $ICABA$  interceptan a los del  $IMABA$  indicando el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas, correspondientes a los valores  $ICABA_{m\acute{a}x}$  e  $IMABA_{m\acute{a}x}$  corresponden a los momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie.  $ICABA$  Log  $r^2=0,75$  e  $ICABA$  W.  $r^2=0,80$ , corresponde a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### Santa Mónica

La Figura 11 muestra los crecimientos basales acumulados de 50 árboles de *C. microcheate* colectados en la localidad de Santa Mónica. Se observa una amplia variabilidad en el crecimiento basal acumulado oscilando en individuos con 90 años entre  $0,41 \text{ m}^2$  y  $0,16 \text{ m}^2$ . El

crecimiento medio basal acumulado, al momento en que todos los árboles del rodal alcanzan la edad de 60 años, es  $0,18 \text{ m}^2$ . A los 90 años, cuando sólo 5 individuos proveen información para la estimación del crecimiento basal, éste alcanza  $0,30 \text{ m}^2$  (Fig. 4.11).

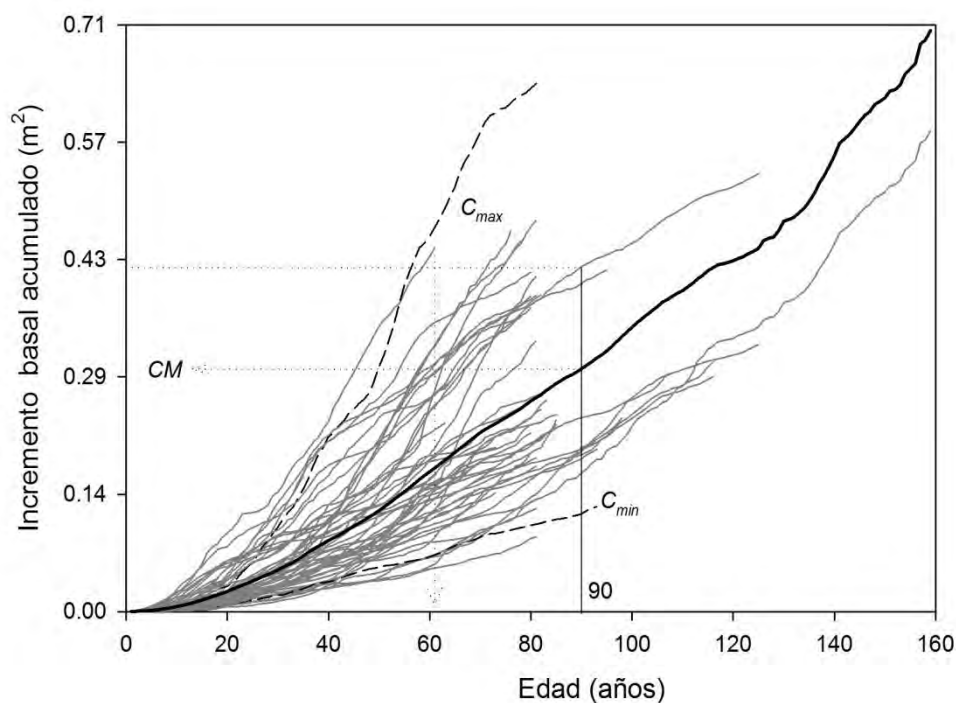


Figura 4.11. Crecimiento en área basal acumulada de 50 individuos de *Centrolobium microcheate* provenientes de la localidad de Santa Mónica. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 90 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal integran el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

En la Figura 4.12 se presentan los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*), y los ajustes correspondientes basados en las funciones de Weibull y Log-normal. En base a estos ajustes, hemos podido establecer que los árboles de *C. microcheate* en la localidad Santa Mónica alcanzan un incremento en área basal máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 80 y 90 años de edad. El incremento en área basal medio anual alcanza un máximo de crecimiento ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) aproximadamente a los 116 años.

Los coeficientes de determinación de las funciones de Weibull y Log-normal para los datos de *ICABA* son de  $r^2=0,74$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,74$  ( $p<0,005$ ), respectivamente. A los 118 años de

edad, la curva de *IMABA* es cortada por la de *ICABA*, representando teóricamente el turno biológico de corte para *C. microcheate* en la localidad de Santa Mónica.

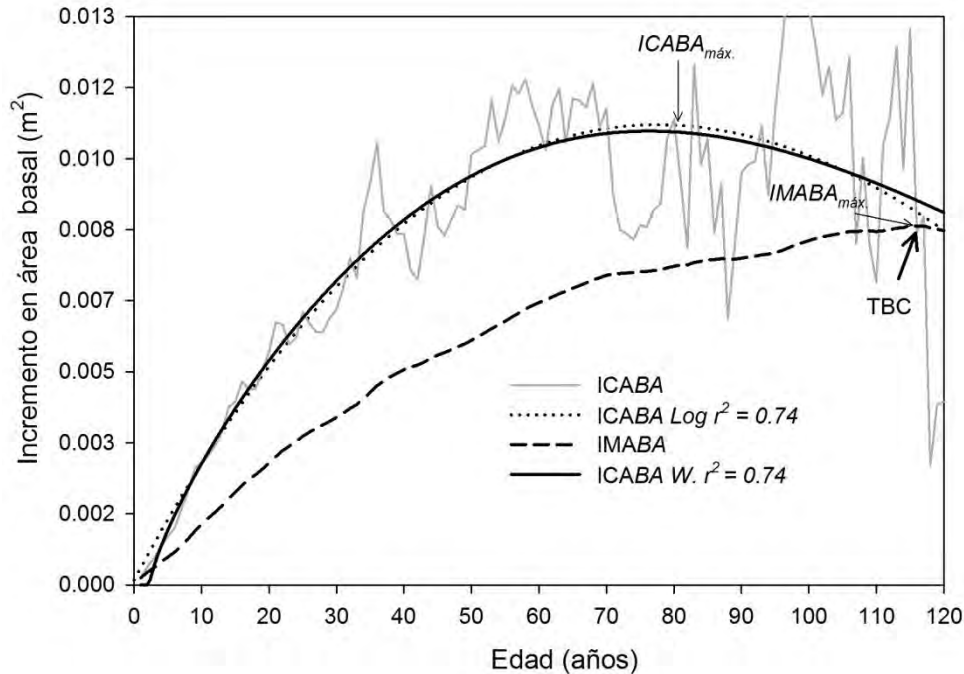


Figura 4.12. Turno Biológico de corte (TBC) para *Centrobium microcheate* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 50 árboles de esta especie en la localidad de Santa Mónica. A la edad 118 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* indicando el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas (correspondientes a *ICABA*<sub>máx.</sub> e *IMABA*<sub>máx.</sub> sugieren el momento de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada esta especie. Mientras *ICABA* Log  $r^2=0,74$  e *ICABA* W.  $r^2=0,74$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### Santa Anita

La Figura 4.13 presenta los crecimientos basales acumulados de 31 árboles de *C. microcheate* provenientes de la localidad de Santa Anita. Se observa una baja variabilidad en el crecimiento basal acumulado con individuos que en 115 años alcanzan 0,29 m<sup>2</sup> aproximadamente, mientras que en este mismo periodo otros individuos sólo alcanzaron un crecimiento basal acumulado de 0,10 m<sup>2</sup>, casi 3 veces menor. El crecimiento medio basal al momento en que todos los individuos de este rodal alcanzan la edad de 57 años, es 0,09m<sup>2</sup>. A los 115 años, cuando 5 individuos proveen información para la estimación del promedio basal, éste alcanza 0,24 m<sup>2</sup> (Fig. 4.13).

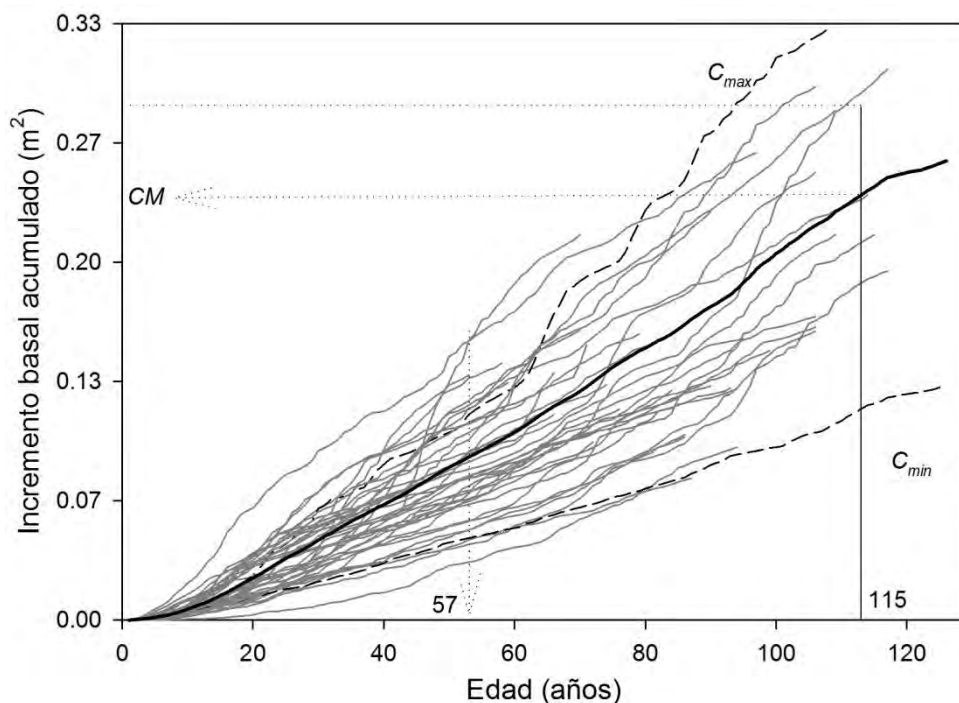


Figura 4.13. Crecimiento en área basal acumulada de 31 individuos de *Centrolobium microcheate* provenientes de la localidad de Santa Anita. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 115 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

Los valores del incremento corriente anual en área basal ( $ICABA$ ), y los ajustes correspondientes basados en las funciones de Weibull y Log–Normal. En base a estos ajustes hemos podido establecer que los árboles de *C. microcheate* en la localidad Santa Anita alcanzan un incremento basal máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 60 y 80 años de edad. En cambio, el incremento en área basal medio anual alcanza un máximo de crecimiento ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) en 120 años aproximadamente (Fig. 4.14).

Los coeficientes de determinación de las funciones de Weibull y Log–normal para los datos de  $ICABA$  son de  $r^2=0,45$  ( $p < 0,006$ ) y  $r^2=0,67$  ( $p < 0,001$ ), respectivamente. A partir de los 115 años de edad, la curva de  $IMABA$  es cortada por la del valor mejor ajustado del  $ICABA$ , sugiriendo el turno biológico de corte para *C. microcheate* en la localidad de Santa Anita.

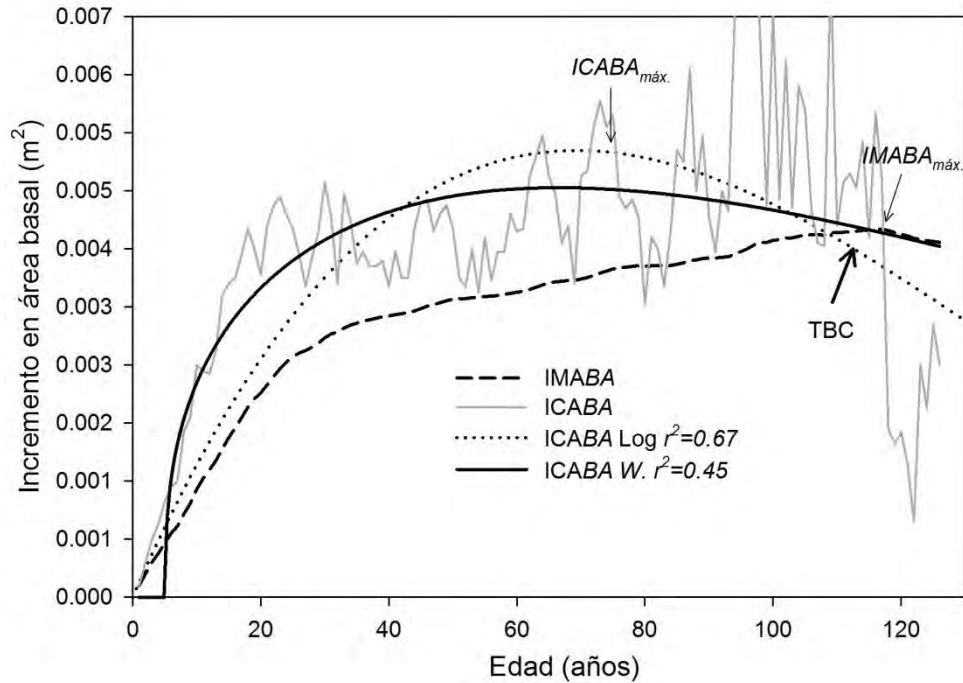


Figura 4.14. Turno Biológico de corte (TBC) para *Centrolobium microcheate* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 31 árboles de esta especie en la localidad de Santa Anita. A la edad de 115 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* sugieren el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas (correspondiente a *ICABA<sub>máx</sub>* e *IMABA<sub>máx</sub>*), indican el momento de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los *ICABA* Log  $r^2=0,67$  e *ICABA* W.  $r^2=0,45$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### Zapocó

En la Figura 4.15 se presentan los crecimientos basales acumulados de 23 árboles de *C. microcheate* provenientes de la localidad de Zapocó. En estos valores se observa una escasa variabilidad, algunos individuos en 110 años alcanzan cerca de  $0,36 \text{ m}^2$ , mientras que otros en el mismo periodo, tienen un crecimiento basal acumulado de  $0,15 \text{ m}^2$ . El crecimiento medio basal, al momento en que todos los individuos del rodal alcanzan la edad de 38 años, es de  $0,03 \text{ m}^2$ ; mientras que a los 110 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio fue de 5 ejemplares, es de  $0,23 \text{ m}^2$  (Fig. 4.15).

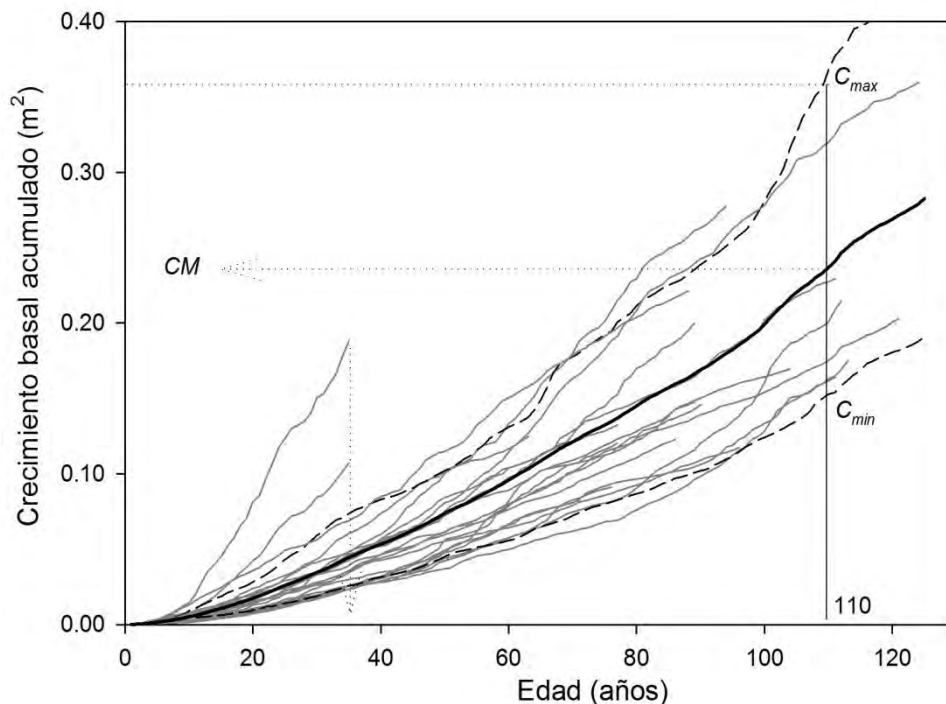


Figura 4.15. Crecimiento en área basal acumulada de 23 individuos de *Centrolobium microcheate* provenientes de la localidad de Zapocó. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzado por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 110 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal integran en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

Los valores del incremento corriente anual en área basal ( $ICABA$ ) y los ajustes a los datos observados empleando las funciones Weibull y Log-normal se presentan en la Figura 4.16. En base a estos ajustes observamos que los árboles de *C. microcheate* en la localidad Zapocó, logran un incremento corriente máximo en área basal ( $ICABA_{máx}$ ) entre los 70 y 80 años de edad. En cambio, el incremento en área basal medio anual alcanzaría su máximo valor ( $IMABA_{máx}$ ) de crecimiento después de los 110 años.

Los ajustes de las funciones Weibull y Log-normal a los datos de  $ICABA$  fueron buenas con coeficientes de determinación de  $r^2=0,81$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,78$  ( $p<0,005$ ), respectivamente. Probablemente después de los 120 años la curva de  $IMABA$  podría ser cortada por los valores ajustados del  $ICABA$ , representando teóricamente el turno biológico de corte para

*Centrolobium microcheate* en la localidad Zapocó. El escaso número de ejemplares con edades superiores a los 110 años, limito la intersección entre ambos valores.

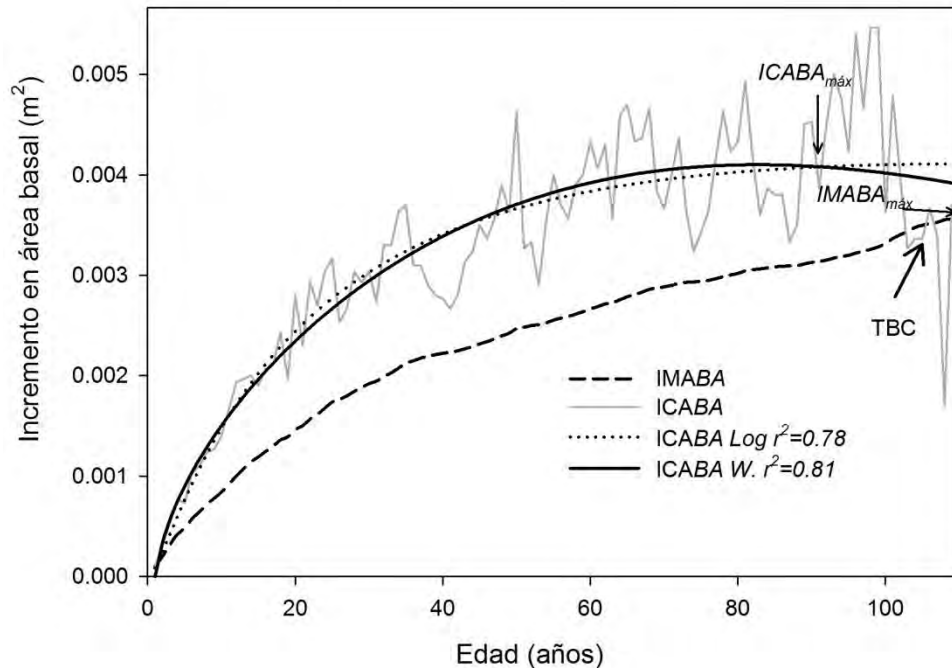


Figura 4.16. Turno Biológico de corte (TBC) para *Centrolobium microcheate* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos a partir de 23 árboles de esta especie provenientes de la localidad de Zapocó. A la edad de >110 años los valores del *ICABA* podrían interceptar a los del *IMABA* dicho punto probable indicaría el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas, correspondientes a los valores *ICABA<sub>máx</sub>* e *IMABA<sub>máx</sub>* corresponden a los momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los *ICABA Log*  $r^2=0,78$  e *ICABA W.*  $r^2=0,81$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### Makanaté

La Figura 4.17 muestra los valores de los crecimientos basales acumulados de 26 árboles de *Centrolobium microcheate* procedentes de la localidad de Makanaté, en los cuales se observa una amplia variabilidad en el crecimiento. Algunos individuos a los 70 años alcanzan aproximadamente 0,33 m<sup>2</sup>, mientras que otros en el mismo periodo sólo alcanzaron un crecimiento basal acumulado 6 veces menor (0,04 m<sup>2</sup>). El crecimiento medio basal acumulado a la edad de 39 años, último año para el que se dispone de los valores de crecimiento de todos

los individuos del rodal, fue de  $0,07 \text{ m}^2$ , mientras que a los 70 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio fue de 5 ejemplares, es de  $0,12 \text{ m}^2$ .

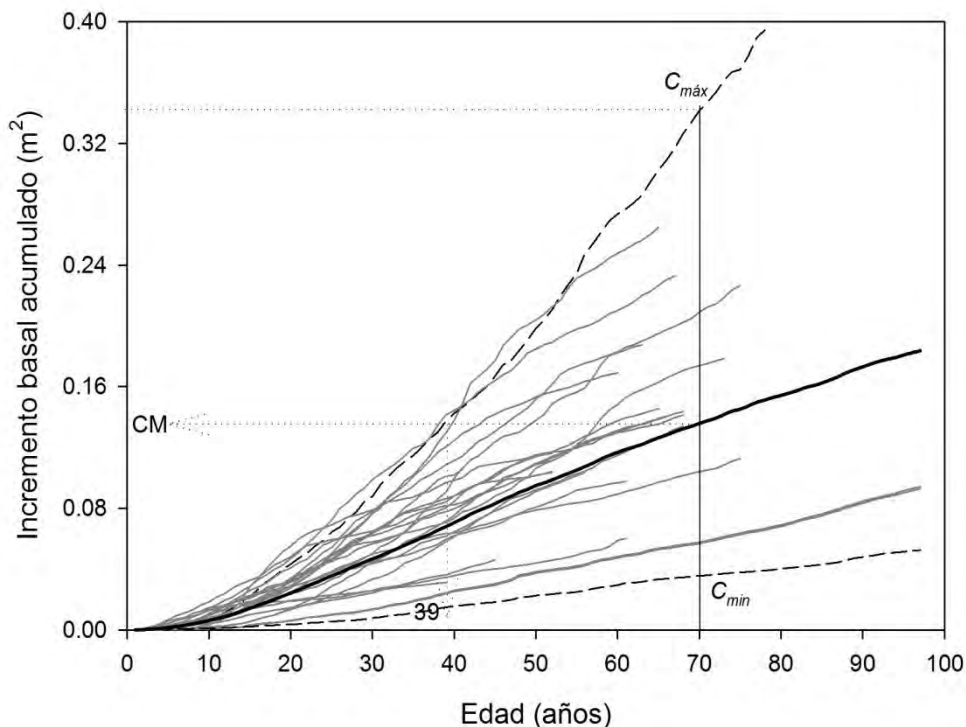


Figura 4.17. Crecimiento en área basal acumulada de 26 individuos de *Centrolobium microcheate* provenientes de la localidad de Makanaté. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzado por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 70 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

Los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*), y los ajustes de estos datos observados empleando funciones de Weibull y Log-normal, indican que los árboles de *C. microcheate* en la localidad Makanaté, alcanzan un incremento corriente máximo ( $ICABA_{máx}$ ) entre los 30 y 40 años de edad. El incremento en área basal medio anual alcanza su máximo valor ( $IMABA_{máx}$ ) de crecimiento a los 80 años. (Fig. 4.18).

Los ajustes realizados por las funciones Weibull y Log-normal a los datos de *ICABA* fueron buenas, con coeficientes de determinación de  $r^2=0,85$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,86$  ( $p<0,001$ ),



respectivamente. A los 70 años la curva de *IMABA* es cortada por los valores ajustados del *ICABA*, indicando teóricamente el turno biológico de corte para *Centrolobium microcheate* en la localidad Makanaté.

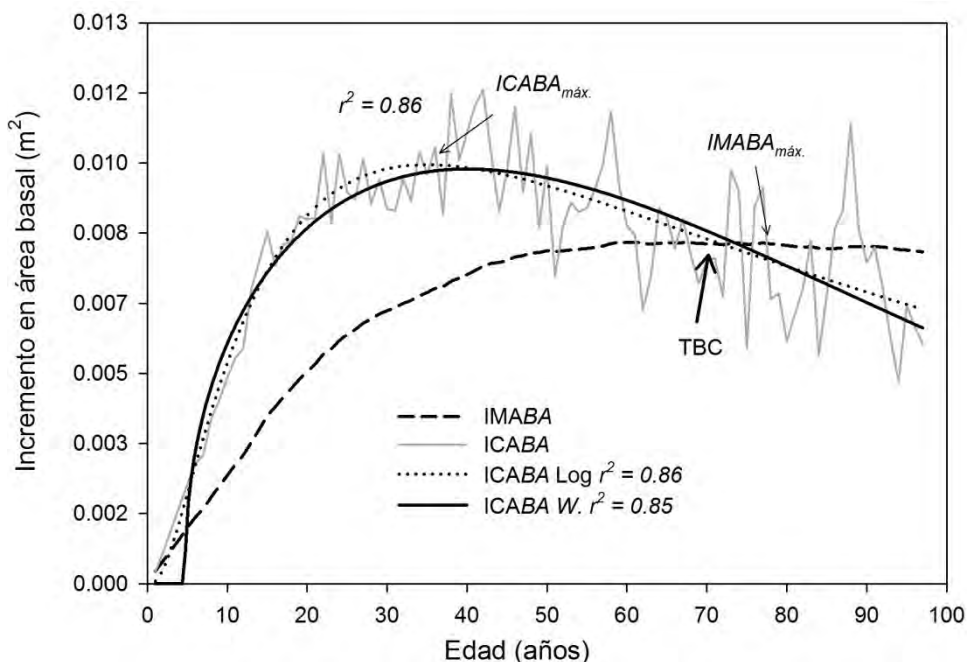


Figura 4.18. Turno Biológico de corte (TBC) para *Centrolobium microcheate* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 26 árboles de esta especie provenientes de la localidad de Makanaté. A la edad de 70 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* indicando el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas, correspondientes a los valores *ICABA<sub>máx.</sub>* e *IMABA<sub>máx.</sub>* momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie respectivamente. *ICABA* Log  $r^2=0,86$  e *ICABA* W.  $r^2=0,85$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### Guarayos–La Chonta (LC)

La Figura 4.19 muestra los crecimientos basales acumulados de 24 árboles *Centrolobium microcheate* provenientes de la localidad de Guarayos–LC. Se observa una amplia variabilidad en el crecimiento basal acumulado oscilando en individuos que en 60 años alcanzan cerca de  $0,22 \text{ m}^2$ , y otros individuos para el mismo periodo, tienen un crecimiento basal acumulado de  $0,03 \text{ m}^2$ . El crecimiento medio basal al momento en que todos los individuos del rodal alcanzan la edad de 25 años, es de  $0,03 \text{ m}^2$ . A los 60 años, cuando sólo 5 individuos proveen información para la estimación media del crecimiento basal, éste alcanza  $0,09 \text{ m}^2$  (Fig. 4.19).

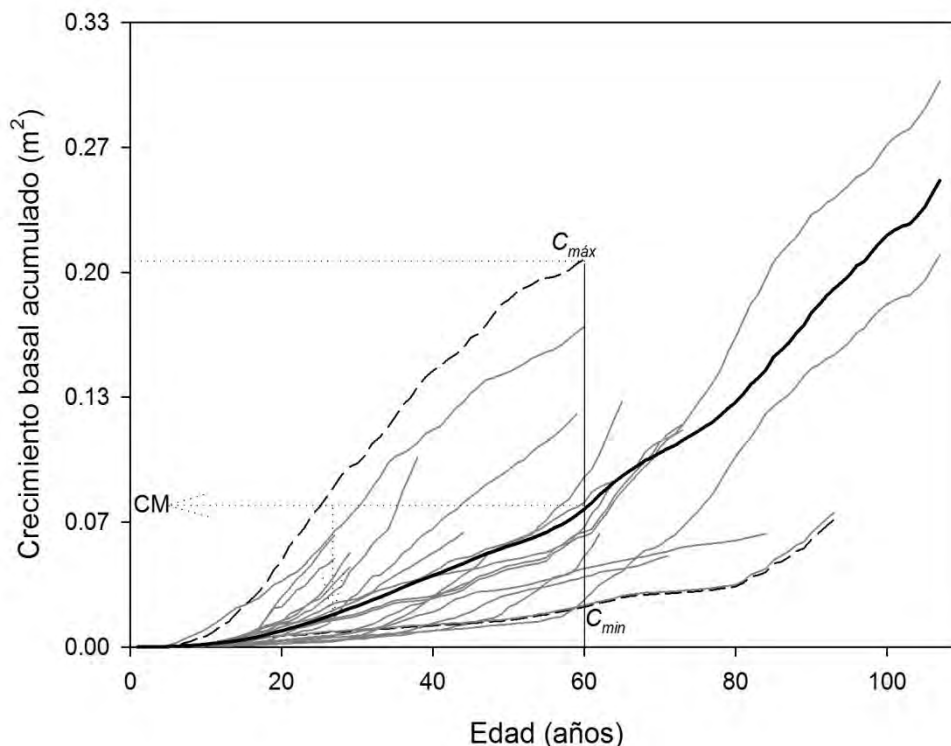


Figura 4.19. Crecimiento en área basal acumulada de 24 individuos de *Centrolobium microcheate* provenientes de la localidad de Guarayos–LC. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 60 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

En la Figura 4.20 se presentan los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*) y los ajustes correspondientes basados en las funciones de Weibull y Log-normal. En base a estos ajustes, hemos podido establecer que los árboles de *Centrolobium microcheate* en la localidad Guarayos–LC, alcanzan un incremento en área basal máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 40 y 50 años de edad. El incremento en área basal medio anual probablemente alcance el máximo valor ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) de crecimiento a edades superiores a 70 años.

Los coeficientes de determinación de las funciones de Weibull y Log-normal para los datos de *ICABA* son de  $r^2=0,50$  ( $p<0,005$ ) y  $r^2=0,66$  ( $p<0,005$ ), respectivamente. A los 68 años de edad la curva de *IMABA* es cortada por ambos valores ajustados del *ICABA*, proveyendo de

esta manera una estimación teórica del turno biológico de corte para *Centrolobium microcheate* en la localidad Guarayos–LC.

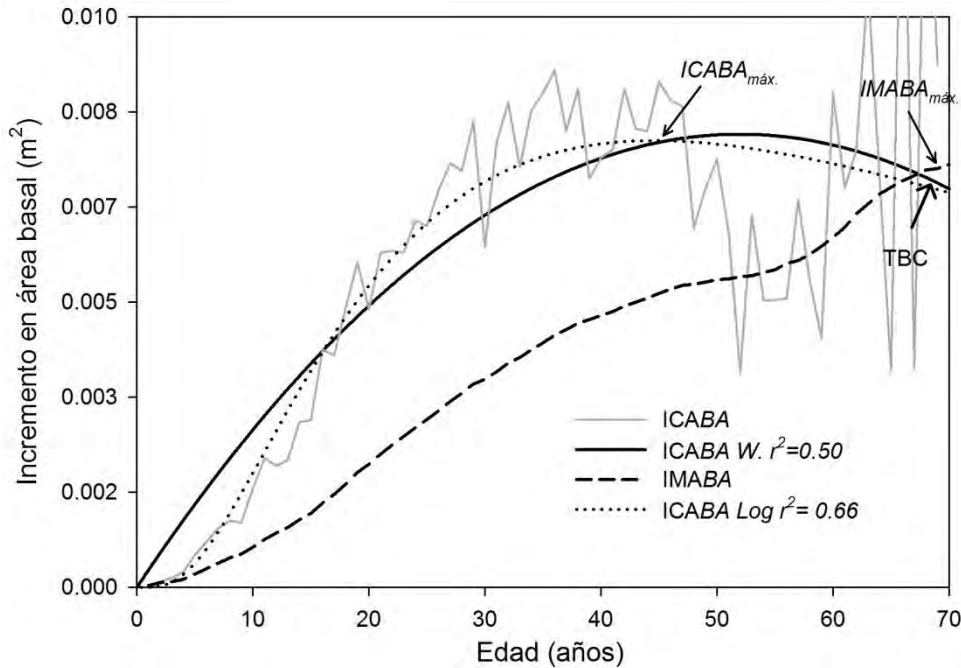


Figura 4.20. Turno Biológico de corte (TBC) para *Centrolobium microcheate* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 24 árboles de esta especie en la localidad de Guarayos–LC. A la edad de 68 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* sugiriendo el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas correspondientes a *ICABA*<sub>máx.</sub> e *IMABA*<sub>máx.</sub> corresponden a los momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los *ICABA* Log  $r^2=0,66$  e *ICABA* W.  $r^2=0,50$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log–normal y Weibull, respectivamente.

***Copaifera chodatiana***

En la Figura 4.21 se presentan gráficamente los crecimientos basales acumulados para 10 árboles de *C. chodatiana*, colectados en la localidad de Concepción. Basados en los pocos ejemplares, se observa escasa variabilidad en el crecimiento basal acumulado. Algunos individuos en 160 años alcanzan 0,44 m<sup>2</sup> aproximadamente, mientras que otros en este mismo periodo, sólo alcanzaron un crecimiento basal acumulado de 0,10 m<sup>2</sup>. El crecimiento medio basal a la edad de 105 años, cuando todos los individuos del rodal son incluidos en el promedio es de 0,10 m<sup>2</sup>, mientras que a los 160 años cuando el número de individuos incluidos fue de 5 árboles, es de 0,20 m<sup>2</sup> (Fig. 4.21).

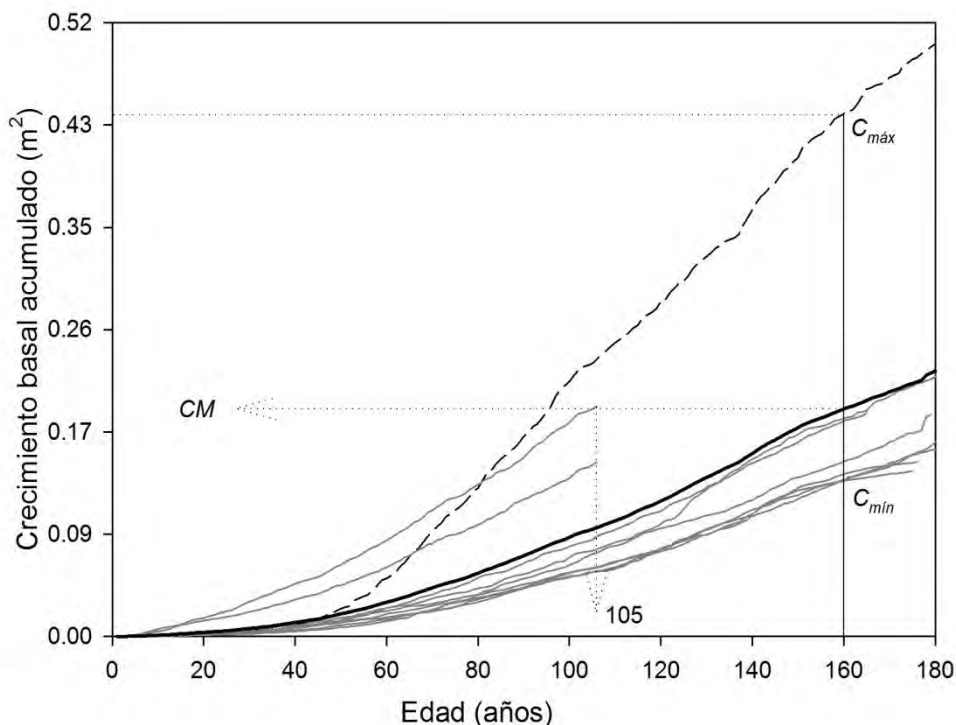


Figura 4.21. Crecimiento en área basal acumulada de 10 individuos de *Copaifera chodatiana* (sirarí) provenientes de la localidad de Concepción (Inpa). Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales, en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 160 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

La Figura 4.22 presenta los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*), y los ajustes a los datos observados mediante las funciones Weibull y Log-normal. Mediante estos ajustes observamos que los árboles de *C. chodatiana*, en la localidad de Concepción logran un incremento corriente máximo en área basal (*ICABA<sub>máx</sub>*), entre 80 y 90 años de edad aproximadamente. El incremento en área basal media anual, alcanzaría su máximo valor (*IMABA<sub>máx</sub>*) a una edad superior a los 100 años (Fig. 4.22).

Los ajustes de las funciones Weibull y Log-normal a los datos de *ICABA* fueron buenas, con coeficientes de determinación de  $r^2=0,91$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,88$  ( $p<0,001$ ), respectivamente. Probablemente, después de los 110 años la curva del *IMABA* sea cortada por los valores ajustados del *ICABA*, indicando en este caso particular el turno biológico de corte para *Copaifera chodatiana* en la localidad Concepción.

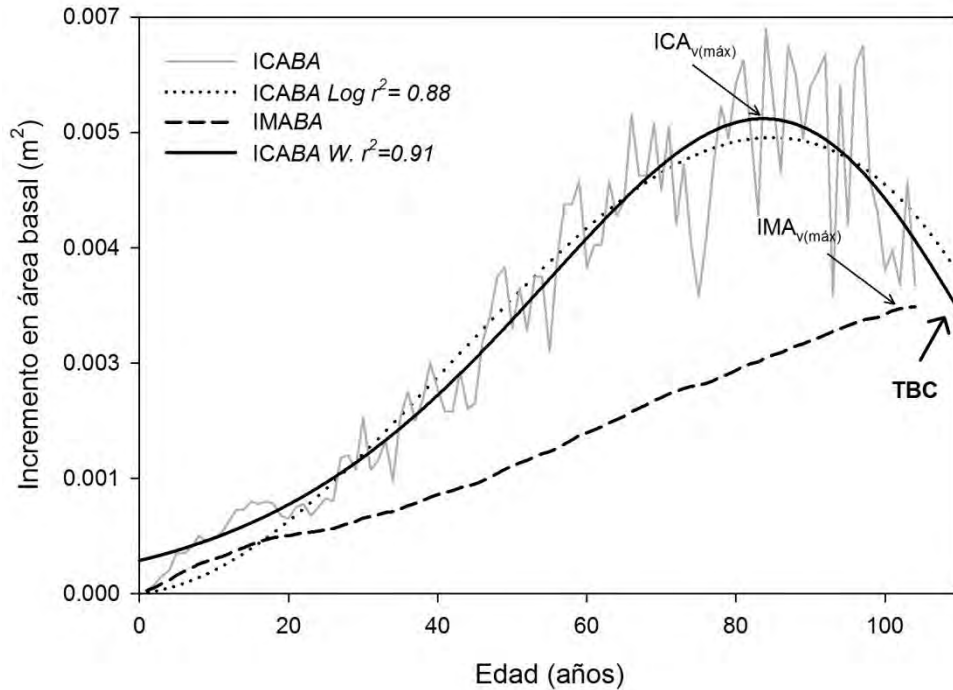


Figura 4.22. Turno Biológico de corte (TBC) para *Copaifera chodatiana* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos a partir de 10 árboles de esta especie provenientes de la localidad de Santa Anita. A una edad > 110 años los valores del *ICABA* interceptarían a los del *IMABA* sugiriendo el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas, correspondientes a los valores  $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$  corresponden a los momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los  $ICABA_{Log} r^2=0,88$  e  $ICABA_{W.} r^2=0,91$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

***Ficus boliviana***

La Figura 4.23 presenta los crecimientos basales acumulados de 9 árboles de *F. boliviana* provenientes de la localidad de Guarayos-LC. En los cuales se observa una baja variabilidad en el crecimiento basal acumulado con individuos que en 90 años alcanzan 1,58 m<sup>2</sup>, en cambio que otros individuos, para el mismo periodo tienen 0,80 m<sup>2</sup>. El crecimiento medio basal a la edad de 25 años, último año para el que se dispone de los valores de crecimiento de todos los individuos del rodal fue de 0,10 m<sup>2</sup>, mientras que a los 90 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio fue de 5 ejemplares, es de 1,14 m<sup>2</sup> (Fig. 4.23).

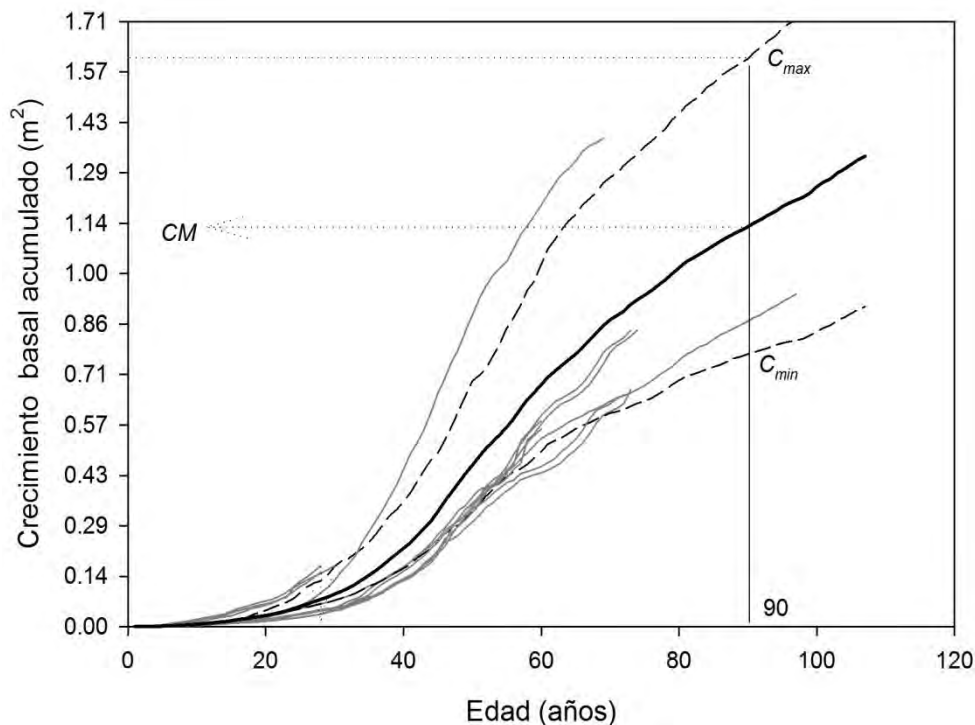


Figura 4.23. Crecimiento en área basal acumulada de 9 individuos de *Ficus boliviana* (bibosi) provenientes de la localidad de Guarayos–La Chonta. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 90 años corresponde al momento en que al menos 4 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

Los valores del incremento corriente anual en área basal (*ICABA*), y los ajustes correspondientes mediante las funciones de Weibull y Log–normal, indican que los árboles de *Ficus boliviana* en la localidad Guarayos–LC alcanzan un incremento máximo (*ICABA<sub>máx.</sub>*), entre los 50 y 60 años de edad aproximadamente. En cambio, el incremento en área basal medio anual, alcanza su máximo (*IMABA<sub>máx.</sub>*) alrededor de los 95 años (Fig. 4.24).

Los coeficientes de determinación de las funciones de Weibull y el Log–normal para los datos de *ICABA* son buenas, con  $r^2=0,81$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,90$ , ( $p<0,001$ ), respectivamente. A los 85 años la curva de *IMABA* es cortada por los valores ajustados del *ICABA*, sugiriendo el turno biológico de corte para *F. boliviana* en la localidad Guarayos–LC.

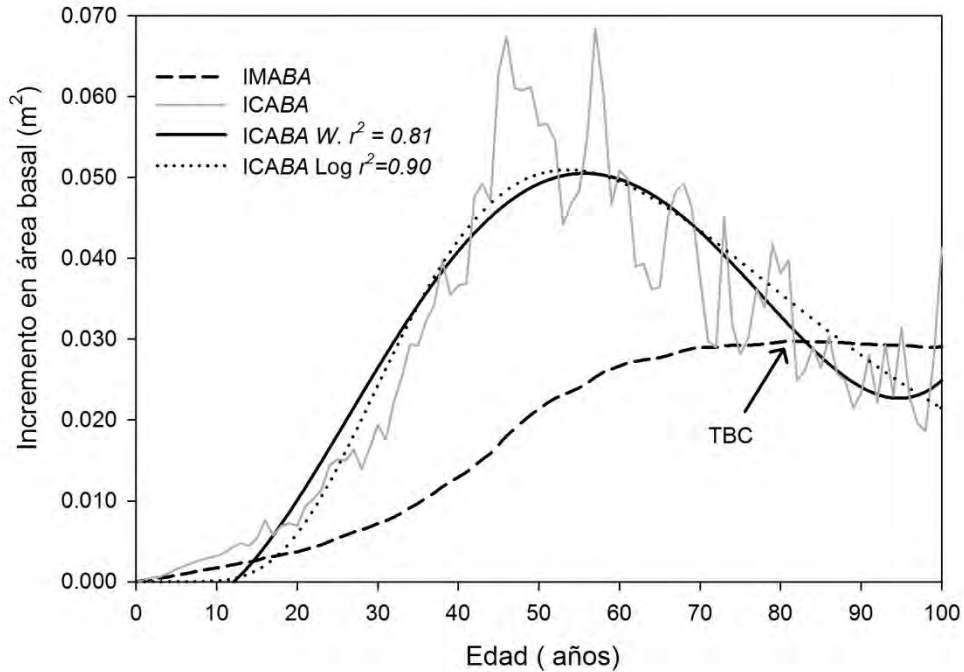


Figura 4.24. Turno Biológico de corte (TBC) para *Ficus boliviana* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*), obtenidos a partir de 9 árboles de esta especie provenientes de la localidad de Guarayos–La Chonta. A la edad de 85 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* sugiriendo el TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas, indican los momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie ( $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$ ). Los *ICABA* Log  $r^2=0,90$  e *ICABA* W.  $r^2=0,81$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log–normal y Weibull, respectivamente.

### *Hymenaea courbaril*

En la Figura 4.25 se presentan los crecimientos basales acumulados de 35 árboles *H. courbaril*, colectados en la localidad de Guarayos–LC. Se observa escasa variabilidad en el crecimiento basal acumulado con individuos que en 125 años alcanzan  $0,70 \text{ m}^2$ , mientras que otros individuos para el mismo periodo, alcanzaron un crecimiento basal acumulado de  $0,30 \text{ m}^2$ . El crecimiento medio basal acumulado a la edad de 110 años, último año para el que se dispone de los valores de crecimiento de todos los individuos del rodal fue de  $0,41 \text{ m}^2$ , mientras que a los 125 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio fue de 5 ejemplares, es de  $0,48 \text{ m}^2$  (Fig. 4.25).

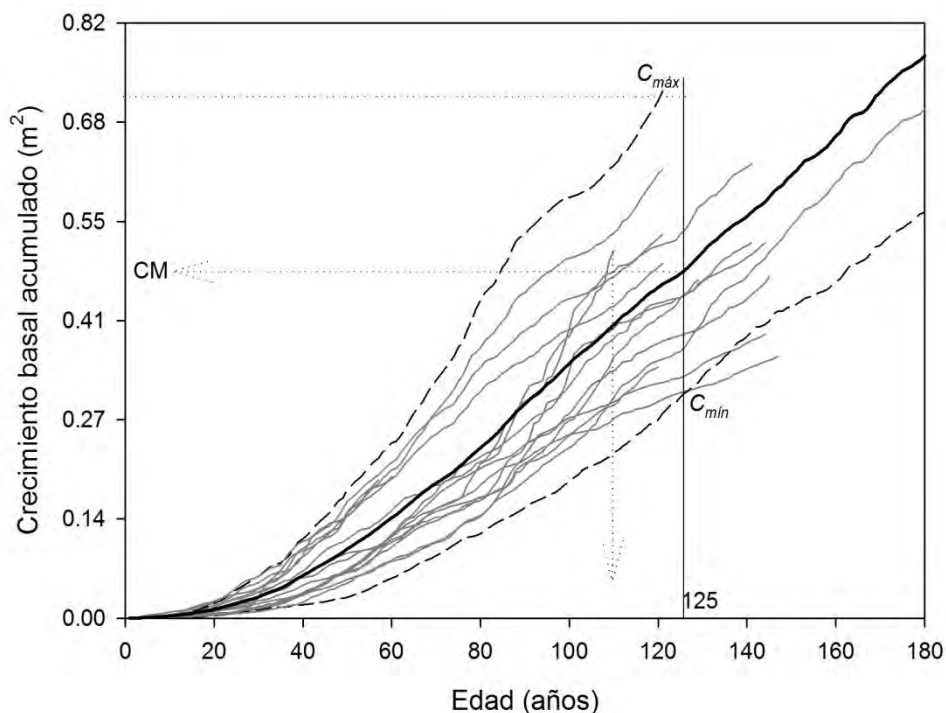


Figura 4.25. Crecimiento en área basal acumulado de 35 individuos de *Hymenaea courbaril* provenientes de la localidad de Guarayos–LC. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzado por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 125 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

Los valores del incremento corriente anual en área basal ( $ICABA$ ), y los ajustes de estos datos observados empleando funciones de Weibull y Log–normal, indican que los árboles de *H. courbaril* en la localidad Guarayos–LC, alcanzan un incremento en área basal máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 90 y 100 años de edad. El incremento en área basal medio anual al parecer podría alcanzar su máximo valor de crecimiento ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) probablemente a los 120 años de edad (Fig. 4.26).

Los ajustes realizados por las funciones Weibull y el Log–normal a los datos de  $ICABA$  fueron buenas, con coeficientes de determinación de  $r^2=0,88$ , ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,86$ , ( $p<0,001$ ), respectivamente. Aproximadamente a los 130 años la curva del  $IMABA$  podría cortar a ambos valores ajustados del  $ICABA$ , dicho punto indicaría el turno biológico de corte para *Hymenaea courbaril* en la localidad Guarayos–LC (Fig. 4.26).



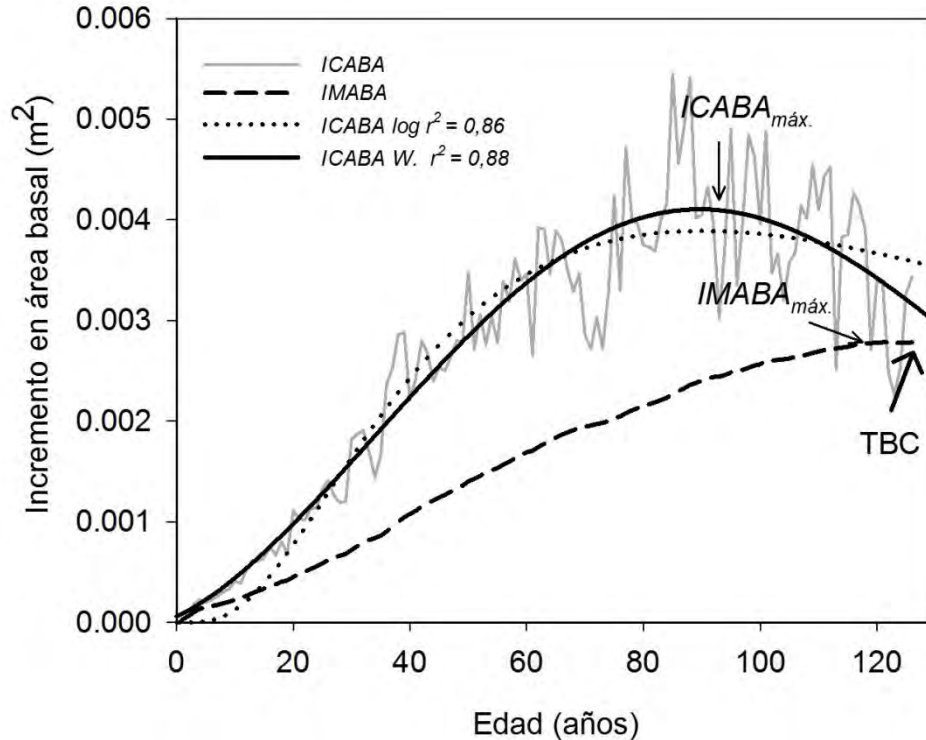


Figura 4.26. Turno Biológico de corte (TBC) para *Hymenaea courbaril* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 35 árboles de esta especie provenientes de la localidad de Guarayos–LC. Después de los 130 años, los valores del *ICABA* probablemente logren interceptar a los del *IMABA* sugiriendo de esta manera los TBC (flecha gruesa). Las flechas más delgadas, correspondientes a los valores  $ICA_{máx}$  e  $IMA_{máx}$  corresponden a los momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los *ICABA* Log  $r^2=0,86$  e *ICABA* W.  $r^2=0,88$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### *Machaerium scleroxylon*

La Figura 4.27 muestra los crecimientos basales acumulados de 9 árboles *M. scleroxylon* colectados en la localidad de Concepción. Se observa baja variabilidad en el crecimiento basal acumulado oscilando en individuos que en 90 años alcanzan  $0,17 \text{ m}^2$  aproximadamente, mientras que otros individuos en este mismo periodo alcanzaron un crecimiento basal acumulado de  $0,07 \text{ m}^2$ . El crecimiento medio basal acumulado al momento en que todos los árboles que integran el rodal alcanzan 67 años, es  $0,09 \text{ m}^2$ . A los 90 años, cuando 5 individuos proveen información para la estimación media del crecimiento basal, este alcanza  $0,12 \text{ m}^2$  (Fig. 4.27).

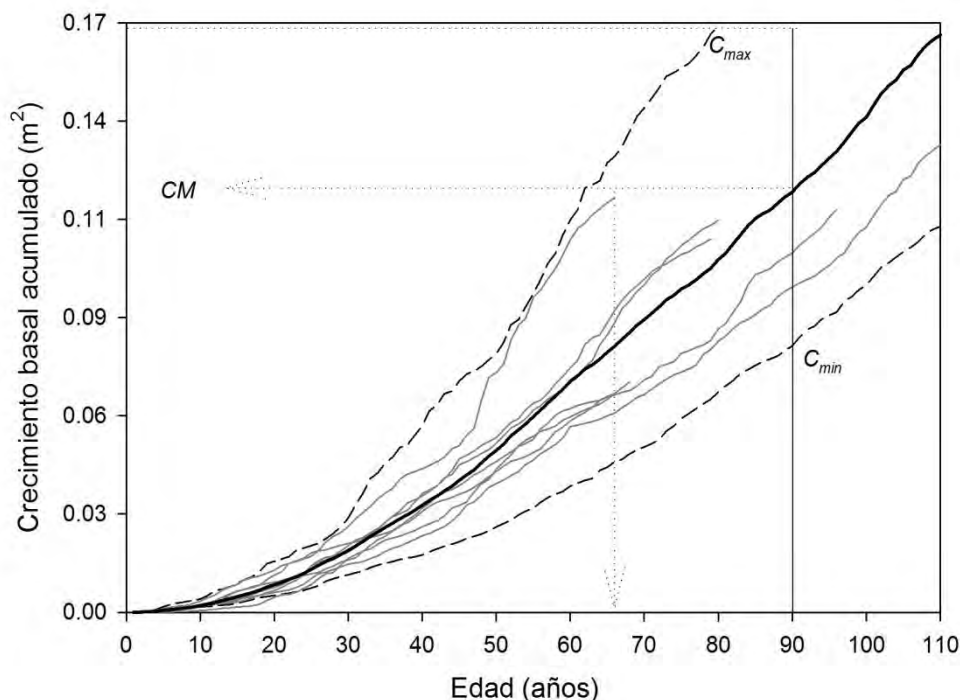


Figura 4.27. Crecimiento en área basal acumulado de 9 individuos de *Machaerium scleroxylon* (morado) provenientes de la localidad de Concepción (Inpa). Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 90 años corresponde al momento en que al menos 4 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

Los valores del incremento corriente anual en área basal ( $ICABA$ ), y los ajustes correspondientes basados en las funciones de Weibull y Log-normal, establecen que los árboles de *M. scleroxylon* en la localidad Concepción podrían alcanzar un incremento en área basal máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) a los 100 años de edad. El incremento en área basal medio anual alcanzaría su máximo valor ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) crecimiento a edades mayores a 120 años (Fig. 4.28). Los coeficientes de determinación de las funciones de Weibull y Log-normal para los datos de  $ICABA$  son buenos, con  $r^2=0,71$ , ( $p<0,005$ ) y  $r^2=0,70$ , ( $p<0,005$ ), para ambos casos respectivamente. A la edad de 120 años la curva del  $ICABA$  ajustado aún no ha sido cortada, por lo que se sugiere que el turno biológico de corte para *M. scleroxylon* en la localidad Concepción es superior a 120 años de edad.

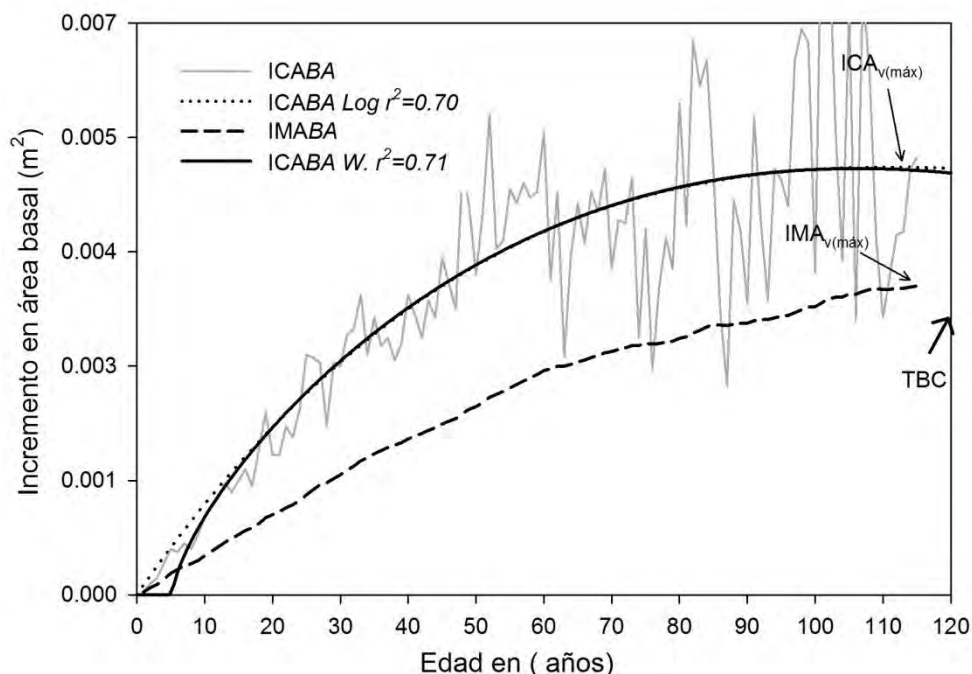


Figura 4.28. Turno Biológico de corte (TBC) para *Machaerium scleroxylon* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (ICABA) y medio anual (IMABA) obtenidos de 9 árboles de esta especie en localidad de Concepción. Después de los 120 años probablemente los valores del ICABA podrían cortar a los del IMABA indicando el TBC. Las flechas delgadas, correspondientes al  $ICABA_{v(máx)}$  e  $IMABA_{v(máx)}$  indican los momentos de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los ICABA  $\text{Log } r^2=0,70$  e  $ICABA \text{ W. } r^2=0,71$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### *Platimiscium ulei*

La Figura 4.29 corresponde al crecimiento basal acumulado de 20 árboles de *P. ulei* colectados en la localidad de Santa Anita. Se observa baja variabilidad entre individuos, alguno de ellos alcanzan un crecimiento basal acumulado de  $0,33 \text{ m}^2$  aproximadamente en 110 años; mientras que otros en este mismo periodo alcanzaron un crecimiento basal acumulado de  $0,10 \text{ m}^2$ . El crecimiento medio basal acumulado a la edad de 49 años, cuando todos los individuos del rodal son incluidos en el promedio, es de  $0,07 \text{ m}^2$ , mientras que a los 110 años cuando 5 ejemplares proveen información, es de  $0,28 \text{ m}^2$  (Fig. 4.29).

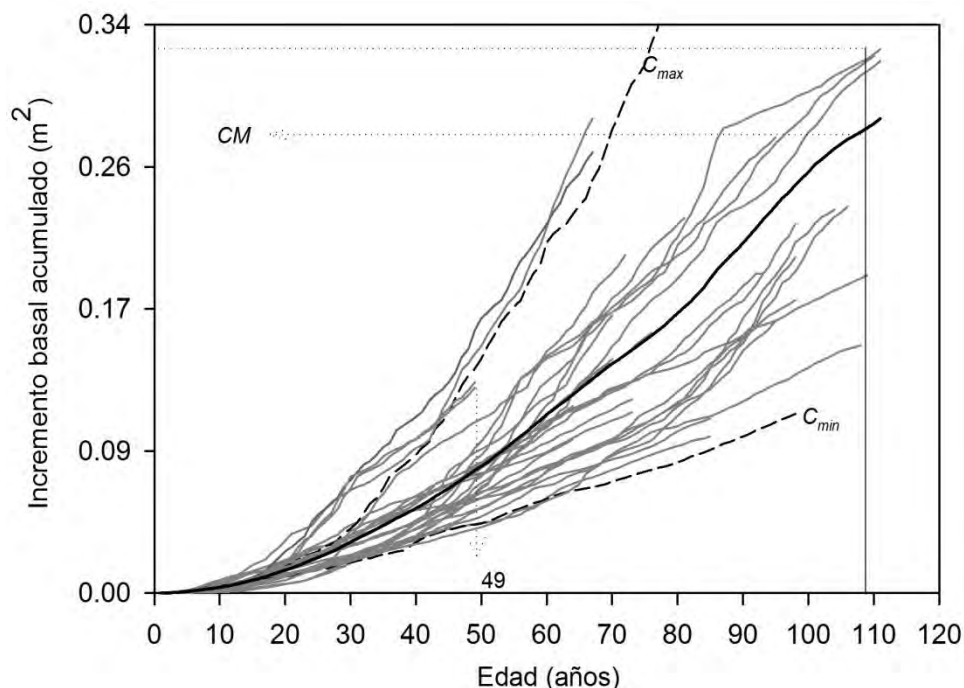


Figura 4.29. Crecimiento basal acumulado de 20 individuos de *Platimiscium ulei* (tarara colorada) provenientes de la localidad de Santa Anita. Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzada por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 110 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal fueron incluidos en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

La Figura 4.30 presenta los valores del incremento corriente anual en área basal ( $ICABA$ ) y los ajustes a los datos observados mediante las funciones Weibull y Log-normal. En base a estos ajustes observamos que los árboles de *P. ulei* en la localidad Santa Anita, alcanzan un incremento corriente máximo en área basal ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 80 y 90 años de edad. El incremento en área basal media anual, alcanza su máximo valor ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) a edades superiores a los 100 años.

Los ajustes de las funciones Weibull y Log-normal a los datos de  $ICABA$  fueron buenas, con coeficientes de determinación de  $r^2=0,84$  ( $p<0,006$ ) y  $r^2=0,80$ , ( $p<0,004$ ), respectivamente. Hasta la edad observada de 100 años, los valores medios del  $IMABA$  aún no fueron cortados por el  $ICABA$ , por lo que se sugiere que el turno biológico de corte para *P. ulei* en la localidad Santa Anita sería superior a los 100 años.

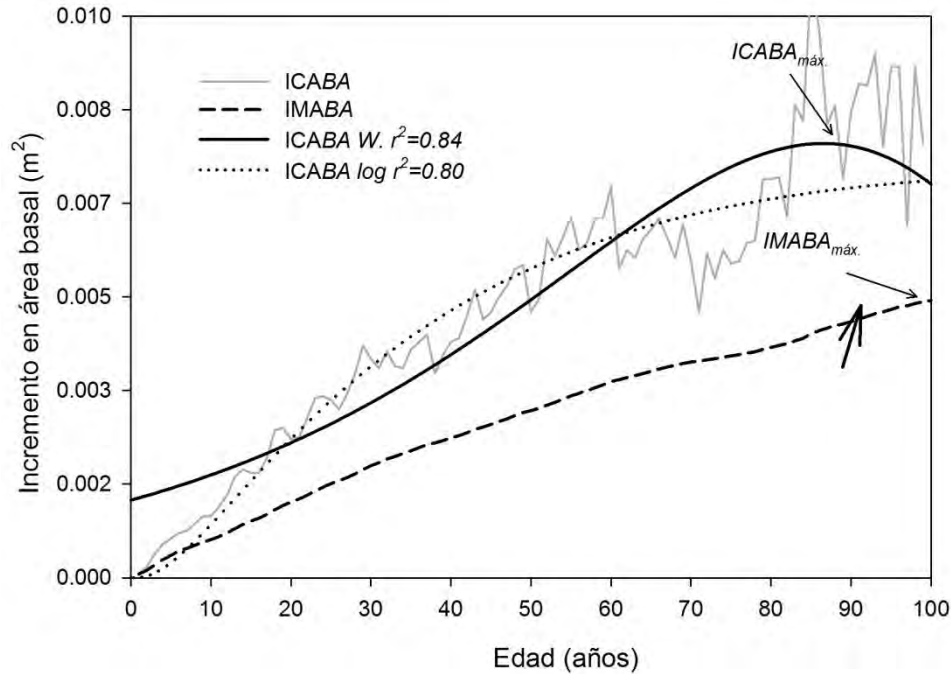


Figura 4.30. Turno Biológico de corte (TBC) para *Platimiscium ulei* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*), obtenidos de 20 árboles de esta especie en la localidad de Santa Anita. Las flechas delgadas, correspondientes a los  $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$  se refieren al momento de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los  $ICABA_{Log}$   $r^2=0,80$  e  $ICABA_{W}$ .  $r^2=0,84$ , corresponde a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### *Zeyheria tuberculosa*

La Figura 4.31 presenta los crecimientos basales acumulados de 12 árboles de *Z. tuberculosa*, provenientes de la localidad de Concepción. En este grupo de árboles se observa una amplia variabilidad en el crecimiento basal acumulado con individuos que en 96 años alcanzaron  $0,17 \text{ m}^2$ , mientras que otros individuos para este mismo periodo, sólo obtuvieron un crecimiento basal acumulado de  $0,04 \text{ m}^2$ . El crecimiento medio basal acumulado a la edad de 84 años, último año para el que se dispone de los valores de crecimiento de todos los individuos del rodal, fue de  $0,08 \text{ m}^2$ , mientras que a los 96 años, cuando el número de individuos incluidos en el promedio es de 5 ejemplares, es de  $0,10 \text{ m}^2$  (Fig. 4.31).

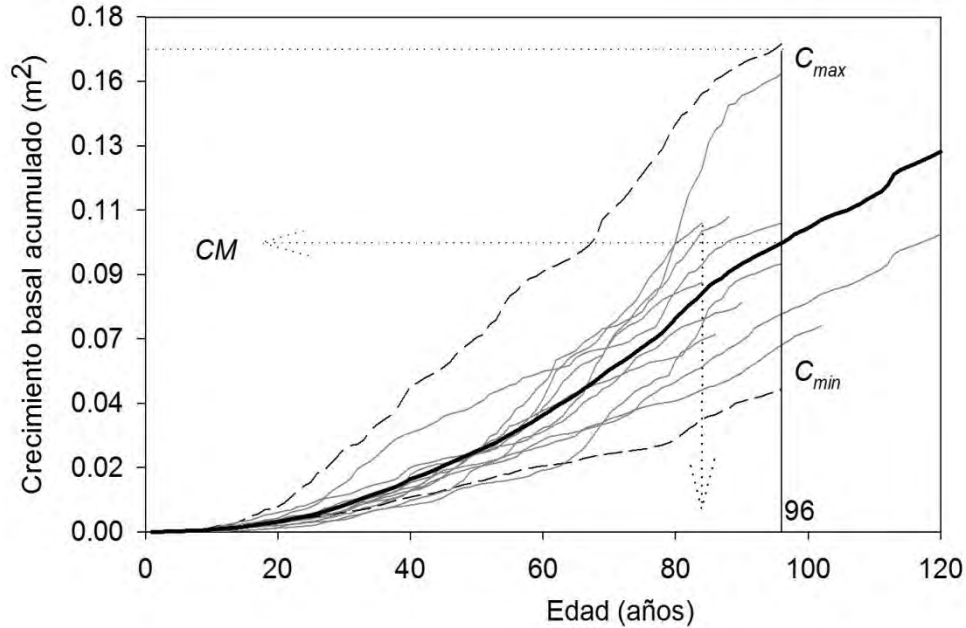


Figura 4.31. Crecimiento en área basal acumulado de 12 individuos de *Zeyheria tuberculosa* (tajibo mono) proveniente de la localidad de Concepción (Inpa). Las líneas delgadas de color gris representan los crecimientos individuales en tanto que la línea gruesa de color negro corresponde al crecimiento medio de todo el rodal. Las líneas de trazos representan a los árboles con mayor y menor ritmo de crecimiento. La flecha vertical de puntos indica la edad máxima alcanzado por todos los individuos en el rodal, en tanto que la línea vertical a los 96 años corresponde al momento en que al menos 5 árboles del rodal participan en el cálculo del crecimiento basal acumulado medio (CM).

La Figura 4.32 muestra los valores del incremento corriente anual en área basal ( $ICABA$ ), y los ajustes correspondientes mediante las funciones de Weibull y Log-normal. En base a estos ajustes estimamos que los árboles de *Z. tuberculosa* en la localidad Concepción alcanzan un incremento en área basal máximo ( $ICABA_{m\acute{a}x}$ ) entre los 80 y 90 años de edad. El incremento medio anual en área basal alcanza un máximo de crecimiento ( $IMABA_{m\acute{a}x}$ ) en 110 años. El ajuste de las funciones Weibull y Log-normal a los datos de  $ICABA$  es significativo, con valores del coeficiente de determinación de  $r^2=0,84$  ( $p < 0,004$ ) y  $r^2=0,75$ , ( $p < 0,001$ ), respectivamente. A los 102 años la curva de  $IMABA$  es cortada por uno de los valores mejor ajustados (Weibull) del  $ICABA$ , indicando teóricamente el turno biológico de corte para *Z. tuberculosa* en la localidad Concepción.

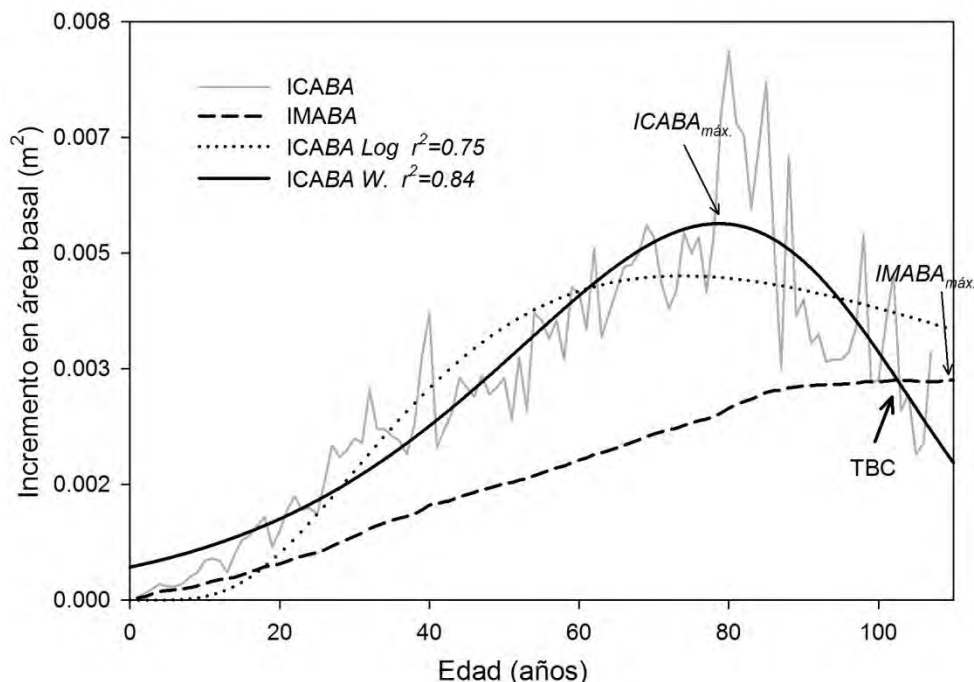


Figura 4.32. Turno Biológico de corte (TBC) para *Zeyheria tuberculosa* estimado a partir de las variaciones interanuales en los incrementos basales corriente (*ICABA*) y medio anual (*IMABA*) obtenidos de 12 árboles de esta especie en la localidad de Concepción. A la edad 102 años los valores del *ICABA* interceptan a los del *IMABA* sugiriendo en este punto el TBC (fecha gruesa). Las flechas más delgadas, correspondientes a  $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$  sugieren el momento de mayor productividad leñosa corriente y media acumulada para esta especie. Los *ICABA* Log  $r^2=0,75$  e *ICABA* W.  $r^2=0,84$ , corresponden a los ajustes de los datos a las funciones Log-normal y Weibull, respectivamente.

### 3.2. Tasas de crecimiento en área basal para las 11 especies forestales

Siguiendo un procedimiento similar al empleado en el capítulo anterior, en esta sección comparamos las tasas de crecimiento basal por distrito para proveer una mejor apreciación de similitudes y diferencias del crecimiento entre especies, entre especies creciendo en diferentes sitios y entre distritos biogeográficos.

El crecimiento basal en el distrito biogeográfico Chiquitano es muy variable entre especies. Si comparamos las dos especies con los valores más extremos, tenemos que *A. cearensis* alcanza un incremento basal acumulado de 0,70 (0,43)  $m^2$  en 110 (90) años mientras que *Z. tuberculosa* sólo 0,17 (0,16)  $m^2$  en 96 (90) años medidos. El promedio de incremento basal

acumulado para todas las especies considerando un periodo común de 90 años es de 0,22 m<sup>2</sup> (Tabla. 4.2).

Con respecto al incremento medio anual en área basal también se observan diferencias muy marcadas entre especies. Las especies con mayor *IMABA* son *A. cearensis* que a los 110 (90) años alcanza un valor de 0,0054 (0,0042), seguida por *C. fissilis*, con 0,0041 (0,0040) durante un intervalo de 105 (90) años, respectivamente. En cambio las especies con menor *IMABA* son *C. microchaete* (localidad de Zapocó) y *Z. tuberculosa* con valores de 0,0010(0,0018) y 0,0018 (0,0018) m<sup>2</sup> en 110 (90) y 96 (90) años, respectivamente. Los *IMABA* promedios en ambos periodos de comparación (112 y 90 años) son relativamente similares 0,0026 (0,0025) (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Tasas de crecimiento basal acumulado e incremento medio anual en área basal de especies del distrito biogeográfico Chiquitano, calculados en base a las edades que se indican y comparados todas a los 90 años (entre paréntesis los valores a dicha edad). En la última columna se indica los turnos biológicos de corte (TBC). El símbolo mayor (>) indica que el TBC es mayor al tiempo indicado.

Nombre de las especies		Crecimiento basal acumulado en m <sup>2</sup>		Incremento en área basal en m <sup>2</sup> /año	
Científico	Común/Local	Prom.	Edad.	IMABA	TBC
<i>Amburana cearensis</i>	roble	0,70 (0,43)	110 (90)	0,0054 (0,0042)	122
<i>Anadenanthera colubrina</i>	curupaú	0,42 (0,28)	100 (90)	0,0031 (0,0030)	105
<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	0,42 (0,36)	105 (90)	0,0041 (0,0040)	105
<i>C. microchaete IN</i>	t. amarilla	0,27 (0,18)	120 (90)	0,0022(0,0020)	145
<i>C. microchaete SA</i>	t. amarilla	0,29 (0,11)	115 (90)	0,0025 (0,0020)	115
<i>C. microchaete ZA</i>	t. amarilla	0,23 (0,16)	110 (90)	0,0010(0,0018)	>110
<i>Copaifera chodatiana</i>	sirarí	0,44 (0,15)	160 (90)	0,0027 (0,0017)	>110
<i>Machaerium scleroxylon</i>	morado	0,17 (0,17)	90 (90)	0,0019 (0,0019)	>120
<i>Platimiscium ulei</i>	t. colorada	0,33 (0,24)	110 (90)	0,0030 (0,0027)	>110
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	tajibo	0,17 (0,16)	96 (90)	0,0018 (0,0018)	102
<b>Promedio regional</b>		<b>0,34 (0,22)</b>	<b>112 (90)</b>	<b>0,0026 (0,0025)</b>	<b>&gt;114,4</b>

A pesar de las importantes diferencias en las velocidades de crecimiento documentadas, no se observa una gran variabilidad en el tiempo estimado para que las diferentes especies alcancen los turnos biológicos de corte (TBC). La mayoría de las especies analizadas dentro del distrito biogeográfico Chiquitano, alcanzan los TBC después de los 100 años de edad. La especie con



un menor TBC es *C. fissilis* con 105 años. En cambio las especies que con mayores TBC son *C. microchaete* (Inpa) y *A. cearensis*, con TBC de 145 y 122 años, respectivamente. En cuanto al promedio regional en el distrito biogeográfico Chiquitano, los TBC serían mayores a los 115 años, valor difícil de precisar ya que en 4 de los 10 sitios estudiados solo se dan valores mínimos de TBC (Tabla 4. 2).

Si bien se observa en general una mayor tasa de crecimiento basal para las especies del distrito biogeográfico de Guarayos, es importante destacar aquí también la alta variación en cuanto a los crecimientos basales entre especie. Las especies con mayor crecimiento basal acumulado fueron *F. boliviana*, con 1,58 (0,96) m<sup>2</sup> en 90 (60) años y *C. ianeirensis* con 0,74 (0,42) m<sup>2</sup> en 80 (60) años, respectivamente. La especie con el menor crecimiento basal acumulado es *C. microchaete* (La Chonta), con 0,22 m<sup>2</sup> en 60 años de mediciones (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Crecimiento basal acumulado e incremento medio anual en área basal de algunas especies del distrito biogeográfico de Guarayos. Para *C. microchaete* SM, corresponde al lugar de colección en Santa Mónica, MK a Makanaté y LC en La Chonta. Los valores de crecimiento acumulado e incremento basal fueron estimados en base a las edades que se indican y comparados todos a los 60 años (entre paréntesis los valores a dicha edad). En la última columna se indica los turnos biológicos de corte (TBC). El símbolo mayor (>) indica que el TBC es mayor al tiempo indicado.

Nombre de las especies		Crecimiento basal acumulado m <sup>2</sup>		Incremento en área basal m <sup>2</sup> /año	
Científico	Común/Local	Prom.	Edad.	IMABA	TBC
<i>Ficus boliviana</i>	bibosí	1,58 (0,96)	90 (60)	0,017 (0,016)	85
<i>Hymenaea courbaril</i>	paquíó	0,69 (0,20)	125 (60)	0,0055 (0,0033)	>130
<i>C. microchaete</i> SM	t. amarilla	0,41 (0,23)	90 (60)	0,0045 (0,0039)	118
<i>C. microchaete</i> MK	t. amarilla	0,33 (0,29)	70 (60)	0,0048 (0,0048)	70
<i>C. microchaete</i> LC	t. amarilla	0,22 (0,22)	60 (60)	0,0036 (0,0036)	68
<i>Cariniana ianeirensis</i>	y. blanco	0,74 (0,42)	80 (60)	0,0046 (0,0035)	105
<b>Promedio regional</b>		<b>0,66 (0,39)</b>	<b>86 (60)</b>	<b>0,0067 (0,0058)</b>	<b>&gt;96</b>

Consistente con las observaciones anteriores, los valores del IMABA también presentan variaciones considerables entre especies. Así, *F. boliviana* registró un incremento medio en área basal de 0,017 (0,016) en 90 (60) años, mientras que el incremento basal para *C. microchaete*, en la localidad de Guarayos–LC fue solo de 0,0036m<sup>2</sup> en 60 años. El promedio regional es alrededor de 0,0067 (0,0058) m<sup>2</sup>/año, en 86 (60) años (Tabla 4.3).

En cuanto al tiempo requerido para alcanzar los turnos biológicos de corte (TBC), también notamos una alta variación entre las distintas especies del distrito de Guarayos. Mientras que para *C. microchaete* en Guarayos–LC se requieren alrededor de 70 años para alcanzar el TBC, para *H. courbaril* se requieren más de 130 años para alcanzar el TBC. También se observan importantes variaciones en el TBC para una misma especie creciendo en diferentes sitios de muestreo. Así, el TBC para *C. microchaete* en Guarayos–LC es de 68 años, en tanto que la misma especie en la localidad de Santa Mónica requiere 118 para llegar al TBC. Sin dejar de considerar esta variación marcada entre especies, el promedio del TBC para las especies estudiadas en este distrito rondaría los 96 años (Tabla 4.3).

#### 4. Discusión de los resultados

Para dar respuesta a muchas interrogantes que plantea el manejo sostenible de los bosques tropicales se requiere imperiosamente contar con información de largo plazo sobre el crecimiento de los árboles (Worbes *et al.* 2003, Brien *et al.* 2006b, Villalba *et al.* 2006). En este sentido, los anillos de crecimiento son una herramienta muy valiosa que ha proporcionando información sobre los ritmos de crecimiento de los árboles durante largos intervalos de tiempo (Worbes & Junk 1999, Worbes *et al.* 2003).

En este capítulo se han empleado los anillos de los árboles para determinar las tasas de crecimiento en área basal de 11 especies del Cerrado Boliviano creciendo en ambientes diferentes a lo largo de un gradiente de precipitación, desde los bosques húmedos de transición al Amazonas hasta los bosques tropicales secos característicos del bosque Chiquitano. Los anillos de árboles en el Cerrado Boliviano nos han permitido documentar la marcada variabilidad de crecimiento entre diferentes especies en un mismo sitio y para individuos de una misma especie en diferentes sitios. Así, para especies de alto valor maderable dentro del distrito biogeográfico Chiquitano, notamos que individuos de *A. cearensis* pueden llegar a acumular en promedio un área basal de 0,70 m<sup>2</sup> en 110 años, mientras que en el mismo periodo el área basal media acumulada de *C. microchaete* puede ser solo de 0,23 m<sup>2</sup>. Asimismo, observamos importantes diferencias en la tasa de crecimiento de *C. microchaete* en diferentes ambientes del bosque Chiquitano. Para un período común de 90 años, el crecimiento acumulado en área basal de esta especie varió entre 0,11 m<sup>2</sup> y 0,18 m<sup>2</sup>

para las localidades de Santa Anita y Concepción, respectivamente (Tabla 4.2). En general, las especies estudiadas de este distrito alcanzan en promedio un incremento en área basal de  $0,0025 \text{ m}^2/\text{año}$  (Tabla 4.2). Realizando una cuantificación simple a partir de estos incrementos y considerando los valores reportados por Mostacedo *et al.* (2009) de densidades de 50 árboles/ hectárea con diámetros superiores a 30 cm en el bosque tropical Chiquitano, estaríamos con una producción maderera media de  $0,125 \text{ m}^2$  de crecimiento basal por hectárea/año.

Las variaciones en el crecimiento basal son aún mayores entre las especies del distrito biogeográfico de Guarayos. Por ejemplo, en un periodo común de 60 años, el crecimiento basal medio de *F. boliviana* fue  $0,96 \text{ m}^2$ , en tanto que *C. microchaete* en Guarayos–LC solo alcanzó  $0,22 \text{ m}^2$  en el mismo periodo (Tabla 4.3). Considerando las densidades de 20 árboles por hectárea con diámetros superiores de 50 cm reportadas por Mostacedo *et al.* (2009) para el distrito de Guarayos, y un valor de incremento en área basal de  $0,0058 \text{ m}^2/\text{año}$ , tendríamos una producción maderera media de  $0,116 \text{ m}^2$  de crecimiento basal por hectárea/año. Estos valores, que en un principio parecieran muy bajos son consistentes con los provistos por para esta región por Mostacedo *et al.* (2009) de  $0,19 \text{ m}^2/\text{hectárea/año}$ .

La medición del ancho de los anillos de crecimiento también ha proporcionado información muy precisa sobre las variaciones temporales del crecimiento en área basal medidos a través de los incrementos corrientes (*ICABA*) y medio (*IMABA*) en área basal. Las variaciones interanuales del *ICABA* en los bosques tropicales del Cerrado fueron modeladas satisfactoriamente empleando las funciones de Weibull y Log–normal, funciones comúnmente empleadas en los estudios silviculturales de bosques templados. Numerosos trabajos sugieren que la función de Weibull, al igual que la Log–normal, son buenas predictoras de las distribuciones diamétricas de los árboles. Por lo tanto ambas funciones han sido ampliamente usadas para estimar la distribución diamétrica y patrones de crecimiento radial de especies forestales (Weibull 1939, Zeide 1993, Vanclay 1995, Nanang 1997, Díaz *et al.* 1998, zeide 2004). De acuerdo a los trabajos de Zeide (1993, 1994) la función Weibull provee una base biológica para ajustar los datos, siendo además flexible, precisa y de fácil empleo.

En general, en nuestro estudio la función de Weibull mostró mejores estadísticos (coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y Suma de Residuos al Cuadrado (RSS)) de ajuste a los datos de *ICABA* que la función Log–normal. En la Tabla 4.4 se listan estos estadísticos para todas las especies

estudiadas y en la Tabla 4.6 para los 6 sitios de muestreo de *C. microchaete*. Con excepción de *C. ianeirensis* y *F. boliviana*, la función Weibull tiene valores del coeficiente de determinación más altos que los correspondientes a la función Log-normal. Algo similar observó Díaz *et al.* (1998) en bosques con diferentes extractos de *Nothofagus pumilio* en el sur de la Patagonia, Argentina. Las clases dominantes y co-dominantes del bosque de *Nothofagus pumilio* se ajustaron mejor a la ecuación Weibull. Estas funciones también han sido usadas en bosques templados en Europa. Así, en los bosques de España, estas funciones fueron usadas para modelar las variaciones en el crecimiento de *Pinus pinaster* con respecto a ambientes con diferente calidad de sitio (Bravo-Oviedo *et al.* 2007).

Tabla 4.4. Estadísticos obtenidos a partir de las funcioness originales. *N.obs.*, es el número de observaciones,  $r^2$  el coeficiente de determinación y RSS, la Suma de los Residuos al Cuadrado.

Especies	Weibull			Log-normal		
	<i>N. obs.</i>	$r^2$	RSS	<i>N.obs.</i>	$r^2$	RSS
<i>Amburana cearensis</i>	128	0,91	0,000098	119	0,88	0,00003
<i>Anadenanthera colubrina</i>	142	0,71	0,000013	142	0,70	0,000012
<i>Cariniana ianeirensis</i>	110	0,58	0,000097	80	0,89	0,000014
<i>Cedrela fissilis</i>	107	0,77	0,000097	111	0,76	0,000010
<i>Copaifera chodatiana</i>	103	0,91	0,0000012	103	0,87	0,0000032
<i>Ficus boliviana</i>	108	0,81	0,0006	108	0,90	0,0005
<i>Hymenaea courbaril</i>	125	0,88	0,000027	125	0,86	0,0000019
<i>Machaerium scleroxylon</i>	115	0,71	0,0000014	115	0,70	0,0000014
<i>Platimiscium ulei</i>	111	0,84	0,0000008	111	0,80	0,000010
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	106	0,84	0,0000004	107	0,75	0,0000076

Al parecer, la preferencia por una determinada función dependería, en nuestro estudio, del número de individuos incluido en la estimación de los crecimientos basales o la longitud de los registros. Así, tanto para *C. ianeirensis* como para *F. boliviana*, especies que mostraron mejor ajuste a la función Log-normal, el número de muestras incluidas en la estimación de los crecimientos basales fueron relativamente pocas (9 series en ambos casos) y con series relativamente cortas (Figs. de área basal para ambas especies). En plantaciones forestales al noroeste de Ghana, las funciones Log-normal y Weibull fueron empleadas para modelar la distribución diamétrica de los árboles de *Azadirachta indica* con respecto a su edad. Algunos grupos de esta especie se ajustaron mejor a la Log-Normal (Nanang 1997)

A pesar de las diferencias mencionadas, ambas funciones dan estadísticos de ajustes aceptables, sugiriendo que tanto Weibull como Log-normal son adecuadas para modelar el crecimiento de árboles tropicales. A su vez, considerando la pérdida natural de individuos por la edad, se asume que ambas funciones ajustan adecuadamente a la realidad biológica de los bosques secos tropicales. Los parámetros empleados en estas dos funciones para cada una de las especies muestreadas se indica en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Parámetros empleados en las funciones de Weibull y Log-normal para modelar las variaciones interanuales en ICABA.

Especies	Weibull				Log-normal		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>X<sub>o</sub></i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>X<sub>o</sub></i>
<i>A. cearensis</i>	0,0045	170,87	4,989	92,852	0,564	0,800	189,57
<i>A. colubrina</i>	0,0020	102,4912	1,563	60,478	0,165	0,946	129,74
<i>C. ianeirensis</i>	0,0036	180,3585	1,1798	73,3319	0,2326	0,495	73,826
<i>Cedrela fissilis</i>	0,0025	117,2558	1,4849	59,6909	0,3106	1,303	301,31
<i>C. chodatiana</i>	0,0016	205,2892	7,5629	83,6977	0,0015	3,722	114,44
<i>Ficus boliviana</i>	0,0148	53,1063	1,6671	54,0759	0,9156	0,475	67,078
<i>H. courbaril</i>	0,0041	115,0957	2,4526	89,5973	0,4967	0,835	181,08
<i>P. ulei</i>	0,0023	418298,8	128166	86,5434	0,5878	1,252	597,52
<i>M. scleroxylon</i>	0,0015	170,9822	1,6926	106,060	0,1288	2,445	109,67
<i>Z. tuberculosa</i>	0,0016	308,2563	12,207	78,6456	0,1287	0,663	114,46

En relación a *C. microchaete*, del cual se dispone de seis sitios de muestreo, se observó que las funciones de ajustes varían en función del sitio de muestreo. En el distrito biogeográfico Chiquitano, las variaciones interanuales en el crecimiento basal de *C. microchaete* se ajustan mejor a la función Weibull. Por el contrario, el crecimiento en los sitios correspondientes al distrito biogeográfico de Guarayos se ajustan mejor a la función Log-normal (Tabla 4.6). Las estimaciones provenientes de Weibull y Log-normal, además de permitir modelar el crecimiento basal en función de la edad, permitieron establecer con mayor precisión, al no considerar el efecto menos predecible de la variabilidad interanual, los momentos de máxima productividad para las 11 especies en estudio. Desde el punto de vista biológico, el momento en que se produce la intercepción de los valores de ICABA e IMABA corresponde al momento donde se alcanzó la mayor productividad biológica o el turno biológico de corte. Este criterio

puede o no coincidir con el turno de corte comercial de la renta máxima (Mutarelli 1964, Assmann 1970, Villalba *et al.* 1987, Boninsegna *et al.* 1989).

Tabla 4.6. Estadísticos obtenidos a partir de las funciones originales ajustadas a los ICABA de *Centrolobium microcheate*. *N.obs.*, es el número de observaciones y RSS, son los residuos de la suma de cuadrados.

Localidad	Weibull			Log-normal		
	<i>N.obs.</i>	$R^2$	RSS	<i>N.obs.</i>	$R^2$	RSS
Concepción	139	0,80	0,000048	149	0,75	0,000060
Santa Mónica	120	0,74	0,000029	119	0,74	0,0000033
Santa Anita	126	0,45	0,000011	125	0,67	0,000012
Zapocó	108	0,81	0,000022	108	0,78	0,000026
Makanaté	96	0,85	0,000010	78	0,86	0,0000059
Guarayos-LC.	69	0,50	0,000029	69	0,86	0,000019

Los parámetros empleados en las funciones Weibull y Log-normal para los distintos sitios de crecimiento de *C. microcheate* se listan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Parámetros obtenidos a partir de las ecuaciones originales.

Localidad	Weibull				Log-normal		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$X_o$	<i>a</i>	<i>b</i>	$X_o$
Concepción	0,0015	146,5496	1,8029	93,0861	0,2989	1,257	449,82
Santa Mónica	0,0032	118,1816	1,7741	76,3101	0,0032	-2,040	18,738
Santa Anita	0,0014	164,3696	1,3568	66,5168	0,0014	-2,178	8,9289
Zapocó	0,0012	173,9857	1,5539	91,6053	0,5834	1,693	1984,0
Makanaté	0,0030	79,9710	1,4730	40,7910	0,1879	1,088	113,41
Guarayos-LC.	0,0023	345,87	1,0844	52,7627	0,1580	0,906	101,42

Para especies pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano, los turnos biológicos de corte (TBC) se alcanzarían entre 101 años en *Anadenanthera colubrina* y 145 años en *C. microcheate* (localidad de Concepción, Fig. 4.33). En algunas de las especies estudiadas, y a pesar de tener individuos con más de 100 años, nuestras estimaciones de ICABA e IMABA no se cortan dentro del rango temporal analizado. Esto se debe probablemente a la escasa cantidad de ejemplares que llegan a estas edades o simplemente los individuos analizados para esta especie no alcanzaron la edad de madurez, por lo que se supone para estas especies que los TBC serían aún mayores a estas edades. Sin embargo, en este distrito ninguna especie

alcanza los TBC en edades menores a los 100 años, por lo que nuestro supuesto de turnos biológicos mayores de 100 años es razonable.

Por el contrario, los TBC son relativamente menores en las especies pertenecientes al distrito biogeográfico de Guarayos. Los TBC oscilan entre los 68 años para *C. microchaete* en el sitio de Guarayos–La Chonta y más de 130 años para *H. courbaril* (Fig. 4.34). A pesar de que la mayoría de estas especies tiene en este distrito tasas relativamente altas de crecimiento, ninguna alcanzaría los TBC a edades menores a 60 años.

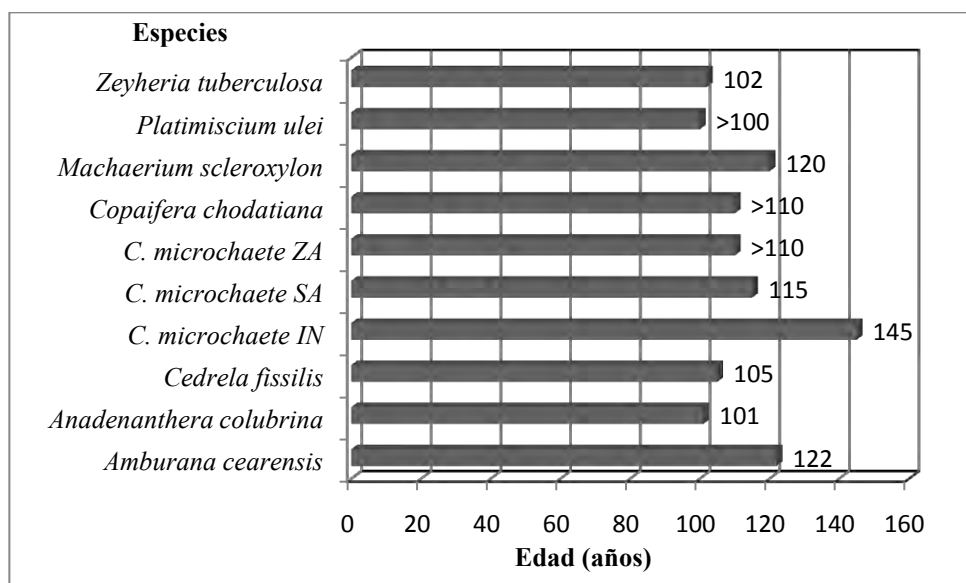


Figura 4.33. Edades asociadas a los turnos biológicos de corte (TBC) en especies pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano Boliviano. El signo mayor (>) se indica para aquellos casos donde los valores de ICABA y IMABA no se interceptan.

Los valores de TBC documentados en nuestro estudio muestran un rango importante de variabilidad entre las 11 especies muestreadas. A su vez, las especies del distrito de Guarayos, con mayores precipitaciones que el Chiquitano, presentan una mayor variación con respecto a las edades necesarias para alcanzar los TBC. Estos resultados sugieren que cada especie tiene un ritmo particular de crecimiento y por lo tanto necesita pautas de manejo forestal basadas en estimaciones regionales. Nuestros resultados indican a su vez la importancia del sitio de crecimiento como elemento determinante del TBC y por lo tanto del manejo forestal de una misma especie en sitios diferentes. Por ejemplo, nuestros resultados indican importantes

diferencias en los TBC para *C. microchaete* creciendo en diferentes distritos biogeográficos (ver Tablas 4.2. y 4.3). Las diferencias en TBC son marcadas entre distritos (85 y 123 Chiquitano y Guarayos, respectivamente) sugiriendo que una misma especie requiere criterios diferentes de manejo en función del sitio donde se encuentra creciendo.

Estas diferencias no sólo se observan en relación a los TBC, sino también en las estimaciones de los picos de máximo crecimiento ( $ICABA_{max}$  e  $ICAMA_{max}$ ) por especie y por tipo de bosque (ver Capítulo V).

En ambos casos los valores promedios de 114,4 y 96 años necesarios para que las especies forestales alcancen lo TBC, son altos. Si bien, el manejo individual de especies en bosques coetáneos con manejo es poco viable económicamente, pero al menos los promedios generales deberían ser propuestos en la determinación de pautas. Dado los tiempos necesarios, es evidente que los volúmenes tengan una reducción mínima entre ciclos de rotación, pero en definitiva seguirán teniendo una viabilidad económica, ya que las especies serán aprovechadas cuando estén alcancen su máxima productividad y a su vez, estarán bajo los estándares de manejo forestal sostenible.

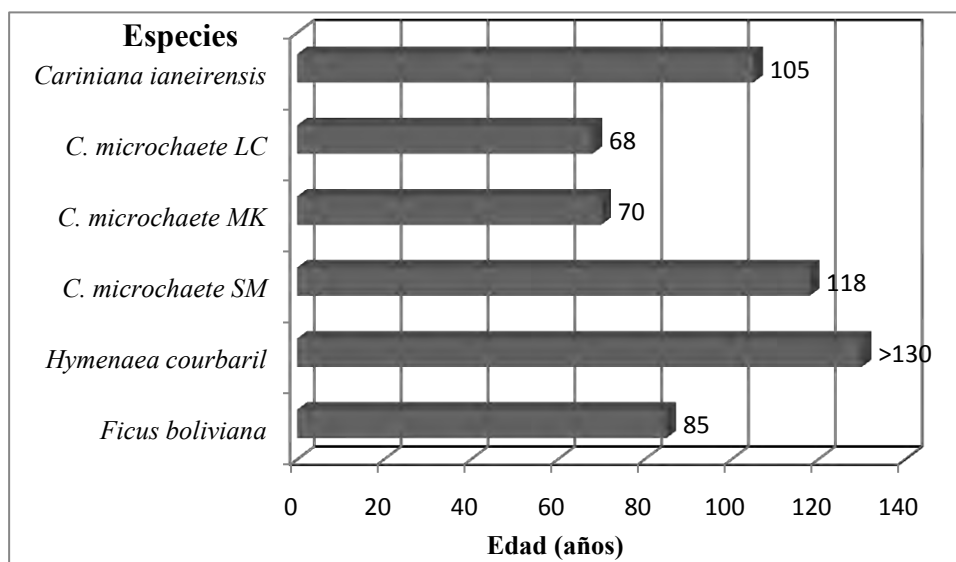


Figura 34. Edades asociadas a los turnos biológicos de corte (TBC) en especies pertenecientes al distrito biogeográfico Guarayos. El signo mayor (>) se indica para aquellas casos donde los valores del  $ICABA$  y  $IMABA$  no se interceptan.



Sin duda, los TBC obtenidos en nuestro estudio para las 11 especies estudiadas, son consistente con aquellas investigaciones que sugieren que los ciclos de corte deberían mayores a los actuales fijados por la Ley Forestal 1700. Estos valores deberían ser considerados en los planes de manejo forestal, ya que su origen proviene de datos altamente precisos y que representan las tasas reales de crecimiento de árboles en los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano.

## 5. Referencias

- APPANAH, S., G. WEINLAND, H. BOSSEL, and H. KRIEGER. 1990. Are tropical rain forests non-renewable?. *Journal of Tropical Forest Science* 2: 331-348.
- ASSMANN, E. 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press. Oxford: 506.
- BONINSEGNA, J. A., R. VILLALBA, L. AMARILLA, and J. OCAMPO. 1989. Studies on tree rings, growth rate and age-size relationship on tropical tree species in Misiones, Argentina. *IAWA Bulletin* 10: 161-169.
- BRAVO-OVIEDO, A., M. DEL RIO, and G. MONTERO. 2007. Geographic variation and parameter assessment in generalized algebraic difference site index modeling. *Forest Ecology and Management* 247: 107-119.
- BRIENEN, R. J. W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. *PROMAB Scientific Series* 10: PROMAB-Riberalta, Bolivia.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1-12.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006a. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Ecology* 94: 481-493.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006b. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226: 256-267.
- CAMPOS, J. J., B. FINEGAN, and R. VILLALOBOS. 2001. Management of goods and services from neotropical forest biodiversity: diversified forest management in Mesoamerica. *En: CBD Technical Series No. 3, Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD), Montreal* 5-16.
- COOK, E. R. AND K. PETERS. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45-53.
- COOK, E. R., and K. PETERS. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45-53.
- DAUBER, E., T. S. FREDERICKSEN, and M. PEÑA. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294-304.
- DÍAZ, B., P. PERI, and G. PASTUR. 1998. Crecimiento diamétrico en bosques de Lenga en sitios de calidad IV en Patagonia sur. *I Congreso Latinoamericano IUFRO, Valdivia Chile*.
- HOLMES, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- LÓPEZ, L. 2003. Estudio de anillos de crecimiento en once especies forestales de Santa Cruz-Bolivia. *U. A. G. R. M., proyecto BOLFOR*: 147.
- MOSTACEDO, B., Z. VILLEGAS, J. C. LICONA, A. ALARCÓN, D. VILLARROEL, M. PEÑA-CLAROS, and T. S. FREDERICKSEN. 2009. *Ecología y Silvicultura de los Principales Bosques Tropicales de Bolivia*. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia. 142.
- MUTARELLI, E. 1964. La ordenación de los bosques. Su aplicación en la Argentina. *Revista Forestal Argentina*. VIII (1): 15-21.
- NANANG, M. D. 1997. Suitability of the Normal, Log-normal and Weibull distributions for fitting diameters distributions of neem plantations in Northern Ghana. *Forest Ecology and Management* 103: 1-7.
- SCHÖNGART, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* 256: 46-58.

- VANCLAY, J. K. 1995. Growth-models for tropical forests: a synthesis of models and methods. *Forest Science* 41: 7-42.
- VILLALBA, R., J. A. BONINSEGNA, and A. RIPALTA. 1987. Climate, site conditions, and tree growth in subtropical northwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1527-1539.
- VILLALBA, R., S. DELGADO, M. DE MEMBIELA, and D. MENDOZA. 2006. Variabilidad interanual de los caracteres anatómicos en el leño de *Cedrela lilloi* en el noroeste de Argentina. *In: Pacheco, S. y Brown, A. (Eds.). Ecología y producción de cedro (genero Cedrela) en las Yungas australes, Subtrópico. Tucumán, Argentina: 59-81.*
- WEIBULL, W. 1939. A statistical theory of the strenght of material. *In: Ingenioersveten-skapskad.*
- WORBES, M., and W. JUNK. 1999. How old are tropical trees? The persistence of a myth. *IAWA* 20: 255-260.
- WORBES, M., R. STASCHEL, A. ROLOFF, and W. J. JUNK. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 173: 105-123.
- ZEIDE, B. 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science* 39 (3): 594-616.
- ZEIDE, B. 2004. Intrinsic units in growth modeling. *Ecological Modeling* 175 249-259.

## CAPÍTULO V

---

### LA DENDROCRONOLOGÍA Y SUS APLICACIONES AL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE



#### Tabla de contenidos

---

1. Introducción.....	172
2. Materiales y Métodos.....	175
2.1. Crecimiento anual por tamaño diamétrico y sus tiempos requeridos.....	175
2.2. Diámetros óptimos de corte.....	176
2.3. Edad media de los árboles y los DMC basados en la densidad madera.....	177
3. Resultados.....	179
3.1. Crecimiento anual por tamaño diamétrico.....	179
3.2. Estimación de los diámetros óptimos de corte.....	186
3.3. Edad media de los árboles y los DMC basados en la densidad de la madera.....	205
4. Discusión y conclusiones.....	207
5. Referencias.....	210

## Resumen

El presente capítulo se basa en la discusión de los resultados expuestos en los capítulos anteriores y cómo su uso y aplicación pueden ser de utilidad en función de lo normado en la Ley forestal de Bolivia. En efecto, se reportan tasas de crecimiento por tamaño diamétrico y los tiempos necesarios para alcanzar un determinado diámetro. Se explica como el análisis de los anillos de crecimiento puede ser una herramienta tecnológica muy útil a la hora de evaluar el crecimiento de diferentes especies en un mismo lugar, o el de una misma especie en diferentes sitios, definiendo en función de ello los Turnos Biológicos de Corte (TBC) más adecuados que permitan la recuperación de los rodales y lograr así el desarrollo sustentable de estos bosques. Así mismo se pone en prueba otras técnicas de manejo recientemente propuestas como GOL (Aprovechamiento Basado en el Crecimiento, Growth-Oriented Logging), para la determinación de los Ciclos de Corte (CC) y Diámetros Óptimos de Corte (DOC) cuyos resultados son comparados con las actuales propuestos en la Ley Forestal. Se discute como su aplicación favorecería al uso racional y la conservación de los bosques secos tropicales a largo plazo.

### 1. Introducción

Los bosques tropicales albergan más de la mitad de todas las especies animales y vegetales terrestres. En cada hectárea de bosque tropical pueden coexistir hasta 300 especies de árboles (Gentry 1988). Los bosques tropicales también ofrecen una serie de servicios a la sociedad en su conjunto para satisfacer múltiples funciones: proveer madera y productos forestales no maderables, fijar carbono, regular el ciclo hidrológico y servir de sitio de recreación y turismo (Kant 2004). Sin embargo, la mayoría de los bosques tropicales son valorados únicamente por la madera que producen y sufren una peligrosa y persistente conversión a otros usos, incluso en tierras no aptas para fines agrícolas o ganaderos (Nepstad 2007).

La madera proveniente de los bosques tropicales está siendo altamente demandada por parte del mercado internacional que requiere maderas con altos estándares de calidad tanto en aspectos estéticos como en durabilidad (Harriague 2008). En Bolivia, La articulación productiva del sector forestal maderable es una de las más crecientes. En muy poco tiempo la producción interna alcanzo valores cercanos a los US\$ 117 millones en 2003, y luego pasó a US\$ 294 millones en la gestión 2007, incrementándose un 71% en volumen en solo cuatros años (Bolfor II 2008, 2009).

En 1996, Bolivia adoptó la nueva Ley Forestal (MDSMA 1997d) con el objetivo de estimular el manejo forestal sostenible, de modo tal que garantice la producción de madera bajo

parámetros de sostenibilidad a largo plazo (Bojanic 2001, Fredericksen & Peralta 2001). Esta Ley Forestal Boliviana contempla entre sus instrumentos de gestión, un Plan General de Manejo Forestal (PGMF) con una especificación por región Forestal. Así, para los bosques secos del Distrito Chiquitano se establecen un ciclo de corte de 25 años y un diámetro mínimo de corte (DMC) superior a 40 cm (DAP). Asimismo el aprovechamiento debe tener una intensidad de corte del 80% de los árboles maduros y dejando el 20% como árboles semilleros que a su vez creen condiciones favorables para la regeneración del bosque. Asimismo, se establece un Plan Operativo Anual Forestal (POAF) en el que se fija el área anual a aprovecharse (AAA) acompañada de un censo forestal del total de los árboles dentro el AAA (MDSMA 1997a, MDSP 1998).

En Bolivia, cerca de 9 millones de hectáreas se encuentran bajo este régimen de planes de manejo forestal (Bolfor II 2008, 2009), de las cuales más de 2,09 millones de hectáreas de bosques están Certificado para la extracción maderable (Smartwood 2004, Bolfor II 2009, Cfv 2010). Cada plan de manejo forestal en Bolivia está basado en una serie de prácticas de manejo obligatorias incluyendo límites cuantitativos para los ciclos de corta, límites diamétricos y conservación del 20% de los árboles del total del área manejada como árboles semilleros (van Rheenen 2005). La normativa actual prevé asimismo una evaluación de las respuestas del bosque a la intervención humana a través del monitoreo de parcelas permanentes (PPM). Las PPM son instrumentos que permiten seguir el crecimiento y rendimiento del bosque remanente con el propósito de obtener información esencial para ser utilizada en el momento de tomar decisiones de ordenación forestal respecto a ciclos de corta, diámetros mínimos de corta, volúmenes de corta y otros supuestos planteados en los Planes de Manejo (MDSMA 1997a, b, c, MDSP 1998).

A pesar del enorme esfuerzo, el tiempo que consume el monitoreo de PPM y la limitación de sus datos (Lieberman & Lieberman 1985), en Bolivia existe una Red Nacional de PPM, situadas en las ecoregiones más importantes del país. Mas 10 años de esfuerzo de monitoreo han permitido obtener datos regionales sobre las tasas de crecimiento de algunas especies (Dauber *et al.* 2005), evaluar los efectos de algunos tratamientos silviculturales (Peña-Claros *et al.* 2008) y precisar el crecimiento de los árboles con diferente grados de cobertura por lianas (Villegas *et al.* 2009). Los estudios de PPM han mostrado resultados interesantes. Las tasas de crecimiento regional han sido estimadas para 12 especies forestales de la región

Chiquitina, 25 especies de los bosques de transición (Chiquitano–Amazónico) y 14 especies en la región pre–Andina (Dauber *et al.* 2005). Empleando cuatro tratamientos de raleo: intensivo, medio, moderado y control, se determinó la competencia por lianas en cada uno de ellos. Al parecer la mayor proliferación de lianas estuvo centrado en el bosque con raleo medio (tipo selectivo). Los árboles de este tratamiento mostraron a su vez menor crecimiento con respecto a los demás tratamientos (Peña-Claros *et al.* 2008, Villegas *et al.* 2009).

A pesar de estos avances, los datos proporcionados por las PPM todavía son muy limitados y no alcanzan para dar respuestas concretas a las principales hipótesis y supuestos del manejo forestal. Muchas de estos interrogantes requieren de una evaluación por tiempos más largos, incluyendo en algunos casos toda la historia de vida de los árboles que integran el bosque actual. El análisis de los anillos de crecimiento permite conocer la longevidad, los ritmos de crecimiento y la dinámica de los rodales estudiados (Dezzeo *et al.* 2003, Worbes *et al.* 2003, Brien & Zuidema 2005, Brien & Zuidema 2006b). Por su parte, el empleo de los anillos de árboles permite estimar los diámetros óptimos de corte (DOC) para árboles de los bosques tropicales sujetos al manejo forestal (Brien & Zuidema 2006b, Schöngart 2008). Asimismo, los estudios dendrocronológicos han permitido establecer las respuestas del crecimiento de los bosques tropicales a los cambios ambientales presentes incluyendo el clima (Dünisch *et al.* 2003, Brien & Zuidema 2006a, López & Villalba 2010).

El principal objetivo de este capítulo es emplear una combinación de métodos dendrocronológicos y silvícolas para evaluar los estándares de sostenibilidad propuestos por la Ley Forestal Boliviana como una herramienta viable para el manejo forestal de los bosques nativos de la Provincia Biogeográfica del Cerrado Boliviano. Estudios recientes en la regiones tropicales de América del Sur sostienen que las formas más favorables para el manejo de los bosques tropicales consiste en mantener rodales multi–etarios (disetáneos) a través de la implementación de ciclos de corte y el establecimiento de diámetros mínimos de corte (Schöngart 2008). El ciclo de corte define el intervalo de tiempo en años entre dos cosechas forestales de un mismo rodal. A diferencia de las prácticas corrientes, estas nuevas propuestas de manejo sustentable establecen que solamente un porcentaje de árboles sobre el diámetro mínimo de corte serán cosechados en cada ciclo de corte. Recordemos que la Ley Forestal de Bolivia establece un mínimo del 20% de árboles maduros que deben permanecer en el bosque. Esto permite mantener la estructura disetánea del bosque facilitando el establecimiento de

renovales en las pequeñas aberturas del dosel y el sotobosque. Para lograr una producción maderera más o menos constante en el tiempo, el área total del bosque a explotar se divide en un número de bloques de tamaño similar consistente con el ciclo de corta propuesto. Estos nuevos criterios de manejo de masas tropicales hacen además un fuerte hincapié en las distintas tasas de crecimiento de las diferentes especies que conforman un mismo rodal. Así, los nuevos criterios de manejo sustentable de los recursos forestales tropicales están basados en criterios especie–específicos (sensu Schöngart, 2008), donde se recomienda tener en cuenta la tasa de crecimiento de cada especie en particular, además de considerar los criterios de ciclos de corta y diámetros óptimos de corte. Esta metodología se la conoce como Aprovechamiento Basado en el Crecimiento o GOL que viene del acrónimo de su nombre en inglés: Growth-Oriented Logging (Schöngart 2008). Por ello, en este capítulo se determinaran a partir de las tasas de crecimiento propias de cada una de las 11 especies muestreadas sus diámetro óptimos de corte y los tiempos necesarios para lograr estos diámetros. La aplicación de estos valores en la determinación de pautas y en las normativas vigentes podría guiar al manejo de los bosques bajo los estándares de sostenibilidad. La optimización de la capacidad productiva que posee cada especie tanto en diámetro como en tiempo, puede brindar al bosque en términos silviculturales, tiempo para su recuperación tanto de su estructura como en su dinámica.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Crecimiento anual por tamaño diamétrico y sus tiempos requeridos

A partir de la medición del ancho de los anillos de crecimiento de 11 especies forestales provenientes de dos distritos biogeográficos en la provincia del Cerrado Boliviano, se estimaran los incrementos corrientes anuales (*ICA*) por tamaño diamétrico. Estos resultan de la sumatoria de los valores *ICA*, en rangos de 5 cm de crecimiento diamétrico dividido por el número de anillos que integran dicho intervalo, o sea el “tiempo requerido” para pasar de una clase diamétrica a la siguiente en rangos de 5 cm. Posteriormente, los valores de *ICA* fueron ajustados a una función teórica usando una regresión no lineal logarítmica con el propósito de conocer la tendencia del incremento anual en relación al tamaño diamétrico promedio de los



árboles por especie. Este ajuste proporcionara visualmente una forma rápida y precisa de establecer el tamaño diamétrico que registra el mayor incremento anual para cada una de las 11 especies en estudio. A su vez proporcionara valores precisos sobre los crecimientos promedios por clase diamétrica.

### 2.2. Diámetros óptimos de corte

A partir de los datos de crecimiento en área basal presentados en el capítulo 4, se establecieron los criterios para la cosecha óptima de cada una de las especies muestreadas con el objetivo de proponer una gestión forestal sostenible.

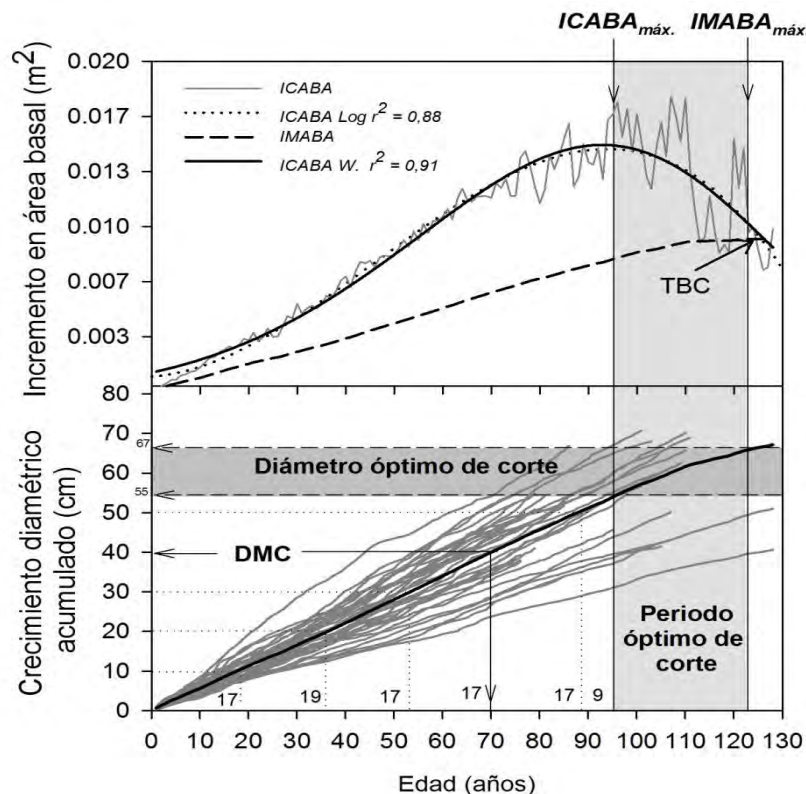


Figura 5.1. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (ICABA) y medio (IMABA) para *Amburana cearensis* en la localidad de Santa Anita. El período comprendido entre el  $ICABAmáx$   $IMABAmáx$  se define como el período preferido para el corte en años (Período óptimo de corte) sobre el eje X, del cual se desprende el Diámetro Óptimo de Corte sobre el eje Y (Crecimiento diamétrico acumulado). El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana se indica con una flecha en ambos ejes para dar idea de la edad del árbol al momento del DMC. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte.



Siguiendo la propuesta GOL (Growth–Oriented Logging) de Schöngart (2008), la producción óptima de un árbol ocurre entre el punto de mayor incremento corriente en área basal  $ICABA_{max}$  y el del mayor incremento medio en área basal  $IMABA_{max}$ . Este período, ha sido definido como el intervalo preferente para la cosecha forestal (Schöngart 2003). Las cortas antes de la  $ICABA_{max}$  y después de  $IMABA_{max}$  darían lugar a un uso ineficiente del potencial de crecimiento de una especie arbórea, ya que los árboles aún no han alcanzado o ya han pasado su fase de crecimiento óptimo, respectivamente.

En base a estas consideraciones, el diámetro mínimo de corte (DMC) se define como el diámetro asociado a  $ICABA_{max}$  y puede ser derivado a partir de las relaciones entre edad–área basal y edad–diámetro indicadas para *Amburana cearensis* en el distrito Chiquitano en la Figura 5.1 (Nebel 2001, Schöngart *et al.* 2007).

Para estimar el Ciclo de Corte (CC), el tiempo medio a través de clases de diámetro de 10 cm hasta alcanzar los DMC específico fue estimado siguiendo la metodología propuesta por Schöngart *et al.* (2007). Este período representa el tiempo promedio que un árbol necesita para crecer de una a la siguiente clase de diámetro, en este caso 10 cm (Fig. 5.1). La ecuación para estimar el CC, es la siguiente:

$$CC = \frac{\text{Edad (DOC)}}{\text{DOC} \cdot 0,1}$$

Donde, la edad es el tiempo acumulado hasta alcanzar el Diámetro Óptimo de Corte (DOC) y donde 0,1 resulta de asumir ciclo de corte separados por incrementos diamétricos de 10 cm, Este valor proviene de los estudios inicialmente propuestos por Schöngart *et al.* (2007), para especies tropicales de América del Sur. Sin embargo, si se consideran los actuales ciclos de corte propuestos en Bolivia de 25 basados en un crecimiento diamétrico de 1 cm/año, o sea ciclos de corte separados por incrementos de 25 años, este valor es de 0,25.

### 2.3. Edad media de los árboles y los DMC basados en la densidad madera

La edad de los árboles fue estimada a partir del conteo de los anillos de crecimiento. La metodología de fechado fue explicado detalladamente en el capítulo III. Las 11 especies en estudio fueron clasificadas por sitio de muestreo y se emplearon para realizar las estimaciones los promedios de crecimiento diamétrico acumulado por especie. Se consideraron dos grupos, el de las especies del distrito biogeográfico Chiquitano y el de las especies del distrito de Guarayos. A su vez, las especies fueron agrupadas en función de la densidad de la madera

(Fig. 6.2). Los valores de densidad fueron obtenidos de la base de datos de especies Bolivianas, (CADEFOR) Centro Amazónico de Desarrollo Forestal, (Viscarra 1998, Montecinos *et al.* 2008).

Empleando como un límite de observación el DMC establecido por la Ley Forestal Boliviana para cada región de estudio, se graficaron los valores promedios por especie del crecimiento diamétrico acumulado, a cuya distribución se le asociaron los valores de la densidad de la madera. Para especies del distrito biogeográfico Chiquitano se consideró como baja densidad desde 0,31 a 0,52 g/cm<sup>3</sup> y como alta densidad de 0,52–0,86 g/cm<sup>3</sup>. En cambio para las especies del distrito biogeográfico Guarayos, y teniendo en cuenta que solo una especie tiene una densidad mayor a 0,6 g/cm<sup>3</sup>, se consideraron a todas las especies como de densidad media. Según Schöngart (2008), el tiempo necesario para alcanzar el diámetro óptimo de corte estaría dado en función a la densidad de madera de cada especie. Especies de alta densidad tienen un crecimiento más lento y requieren de mayor tiempo que especies de baja densidad leñosa.

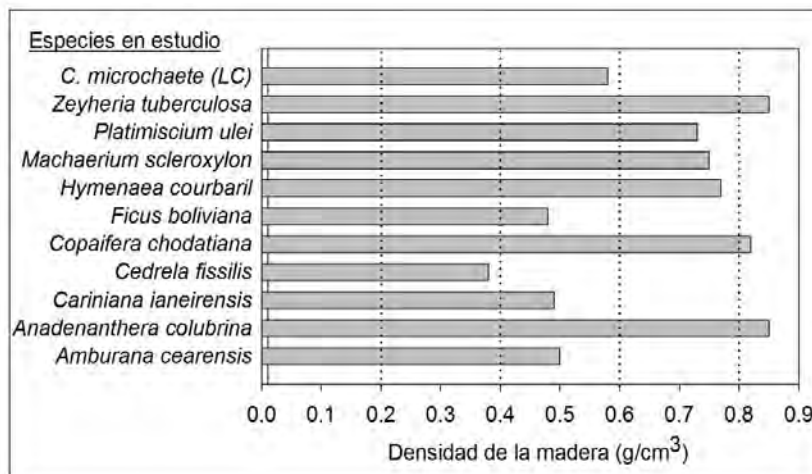


Figura 5.2. Lista de las especies en estudio y las densidades respectivas de sus maderas. Los valores de densidad fueron obtenidos de la base de datos de especies Bolivianas del Centro Amazónico de Desarrollo Forestal (CADEFOR), de Montecinos *et al.* (2008) y de Viscarra (1998).

Finalmente se establecieron las relaciones entre el patrón del crecimiento promedio por especie, el tiempo para alcanzar un determinado diámetro y la densidad de la madera que posee cada una de las especies. Empleando los valores máximos del ICABA y el IMABA (Fig. 5.1, arriba) y la densidad de la madera (Fig. 5.2), se estimaron los rangos probables para los

Diámetros Óptimos de Corte (DOC) en las 11 especies estudiadas. Estas estimaciones se realizaron mediante la aplicación de una regresión lineal a los valores del  $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$  con respecto a la densidad de las 11 especies en estudio.

### 3. Resultados

#### 3.1. Crecimiento anual por tamaño diamétrico

La distribución del incremento por tamaño diamétrico en rangos de 5 cm para las 11 especies en estudio, se muestran en los siguientes gráficos. A su vez, en las tablas asociadas se establecen los tiempos necesarios para alcanzar el DMC establecido por la Ley Forestal y los tiempos transcurridos para pasar de una clase diamétrica a la siguiente superior.

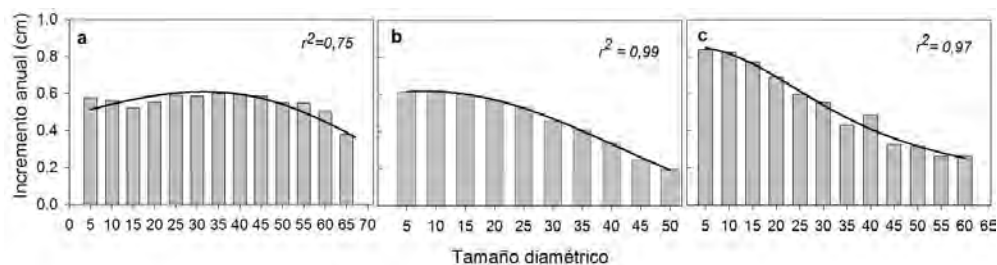


Figura 5.3. Incrementos medios por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico Chiquitano y sus respectivos ajustes usando funciones no lineales. **a**, *Amburana cearensis*, **b**, *Anadenanthera colubrina* y **c**, *Cedrela fissilis*.

En la Figura 5.3, se presenta los incrementos medios por clase diamétrica para tres especies forestales, *A. cearensis*, *A. colubrina* y *C. fissilis* pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano. En general, las tres especies poseen un mayor incremento en los tamaños diámetros menores, con claras tendencias significativas de reducción del incremento hacia los diámetros más grandes, menos marcada en *A. cearensis*.

Los incrementos por tamaño diamétrico para las tres especies (*A. cearensis*, *A. colubrina* y *C. fissilis*), se muestran en la Tabla 5.1. La especie *A. cearensis* requiere 70 años para alcanzar 40 cm. Los menores incrementos diamétricos ocurren cuando los árboles sobrepasan los 60 cm de diámetro, pero observamos un mínimo aproximadamente a los 15 cm aproximadamente,

consistente con el período más largo (10 años) para pasar a la próxima clase diamétrica (Tabla 5.1).

*A. colubrina* alcanza 40 cm de diámetro a los 80 años. A partir de diámetros superiores a los 15–20 cm, se observa una tendencia persistente a reducir el crecimiento radial. Cuando los árboles alcanzan un diámetro de 40 cm requieren en promedio de 15 años para avanzar a siguiente clase diamétrica. Para *C. fissilis*, el tiempo necesario para alcanzar los 40 cm es de 64 años (Tabla 5.1.), registrándose incrementos radiales cada vez menores a partir de diámetros mayores a los 30–35 cm (Tabla 5.1 y Fig. 5.3).

Tabla 5.1. Tiempo transcurrido (Tiempo transc.) y acumulado (Tiempo acum.) para que tres especies del distrito biogeográfico de Chiquitos, pasen de una clase diamétrica a la siguiente en rangos de 5 cm. Los valores con negrita corresponden a la clase diamétrica 35-40 cm, momento en que los árboles alcanzan los DMC de 40 cm establecidos por la Ley Forestal de Bolivia. *n* es el número de individuos considerados en cada clase diamétrica.

Especie	<i>Amburana cearensis</i>				<i>Anadenanthera colubrina</i>				<i>Cedrela fissilis</i>			
	ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)	
Diámetro (cm)	cm	<i>n</i>	Tiempo transc.	Tiempo acum.	Cm	<i>n</i>	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	<i>n</i>	Tiempo transc.	Tiempo acum.
5	0,57	30	8	8	0,61	31	8	8	0,84	27	6	6
10	0,56	31	9	17	0,62	31	8	16	0,82	27	6	12
15	0,52	32	10	27	0,59	31	8	24	0,77	27	6	18
20	0,55	33	9	36	0,56	31	9	33	0,69	27	8	26
25	0,58	35	8	44	0,53	31	9	42	0,59	27	8	34
30	0,58	35	9	53	0,45	31	11	53	0,55	25	9	43
35	0,59	35	8	61	0,41	30	12	65	0,43	21	11	54
<b>40</b>	<b>0,59</b>	<b>35</b>	<b>9</b>	<b>70</b>	<b>0,34</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>80</b>	<b>0,48</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>64</b>

La Figura 5.4, presenta los incrementos medios por clase diamétrica para *Copaifera chodatiana*, *Platimiscium ulei* y *Machaerium scleroxylon* pertenecientes al distrito biogeográfico Chiquitano. *Copaifera chodatiana* presenta escasa variabilidad del incremento en relación al diámetro, con una leve tendencia casi lineal a lo largo de los 50 cm del tamaño diamétrico analizados. En cambio *Platimiscium ulei* y *Machaerium scleroxylon* poseen un mayor incremento en los tamaños diámetros menores, con claras tendencias significativas de reducción del incremento hacia los diámetros más grandes.

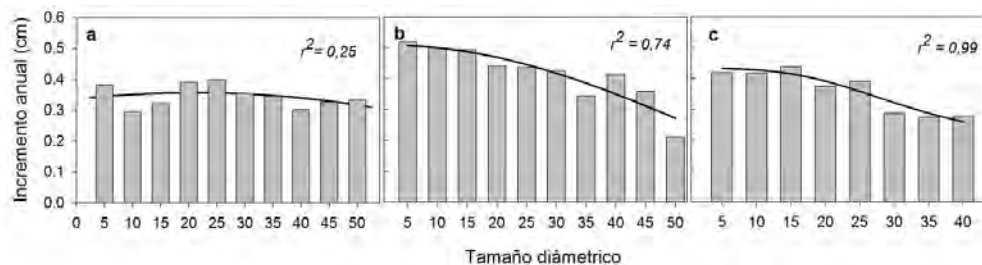


Figura 5.4. Incrementos medios por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico Chiquitano y sus respectivos ajustes usando funciones no lineales. **a**, *Copaifera chodatiana*, **b**, *Platimiscium ulei* y **c**, *Machaerium scleroxylon*.

La Tabla 5.2, muestra los tiempos requeridos tanto transcurridos como acumulados y los incrementos por tamaño diamétrico obtenidos a partir de los anillos de crecimiento para las tres especies. Para *C. chodatiana*, el tiempo necesario para alcanzar 40 cm es de 115 años. Los menores incrementos diamétricos se registran cuando los árboles superan los 10 cm de diámetro, y a su vez, este valor mínimo es consistente con el período más largo (17 años) para pasar a la próxima clase diamétrica. *P. ulei*, alcanza 40 cm de diámetro a los 90 años.

Tabla 5.2. Tiempo transcurrido (Tiempo transc.) y acumulado (Tiempo acum.) para que tres especies del distrito biogeográfico Chiquitano, pasen de una clases diamétrica a la siguiente en rangos de cada 5 cm. Los valores con negrita corresponden a la clases diamétrica 35–40 cm, momento en que los árboles alcanzan los DMC de 40 cm establecidos por la Ley Forestal para esta región. *n* es el número de individuos considerados en cada clase diamétrica.

Especie	<i>Copaifera chodatiana</i>				<i>Platimiscium ulei</i>				<i>Machaerium scleroxylon</i>			
	ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)	
Diámetro (cm)	Cm	<i>n</i>	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	<i>n</i>	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	<i>n</i>	Tiempo transc.	Tiempo acum.
5	0,38	18	12	12	0,51	23	9	9	0,41	9	10	10
10	0,29	18	17	29	0,49	27	10	19	0,41	9	12	22
15	0,32	18	16	45	0,49	29	10	29	0,43	9	12	34
20	0,39	18	13	58	0,44	29	12	41	0,37	9	13	47
25	0,39	18	12	70	0,43	27	11	52	0,39	9	13	60
30	0,35	18	14	84	0,42	28	12	64	0,28	6	17	77
35	0,34	18	15	99	0,34	18	14	78	0,27	4	18	95
<b>40</b>	<b>0,30</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>115</b>	<b>0,41</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>90</b>	<b>0,27</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>113</b>

A partir de diámetros superiores a los 35 cm, se observa tendencia persistente a reducir el crecimiento radial, este tamaño diamétrico es consistente con el período más largo (14 años) para pasar a la próxima clase diamétrica. *M. scleroxylon*, requiere 113 años para alcanzar 40 cm de diámetro. Los menores incrementos diamétricos ocurren cuando los árboles de esta especie alcanzan los 35–40 cm aproximadamente, consistente con el período más largo (18 años) para pasar a la próxima clase diamétrica (Tabla 5.2).

Para la especie *C. microchaete* correspondientes a las localidades del distrito biogeográfico Chiquitano, los incrementos anuales medios por tamaño diamétrico se presentan en la Figura 5.5. Ambas localidades presentan las mismas tendencias en el crecimiento, con incrementos mayores en los tamaños diamétricos menores aproximadamente hasta los 20–30 cm. A partir de estos tamaños diamétricos en adelante, se observa claras tendencias de reducción de los incrementos hacia los tamaños más grandes.

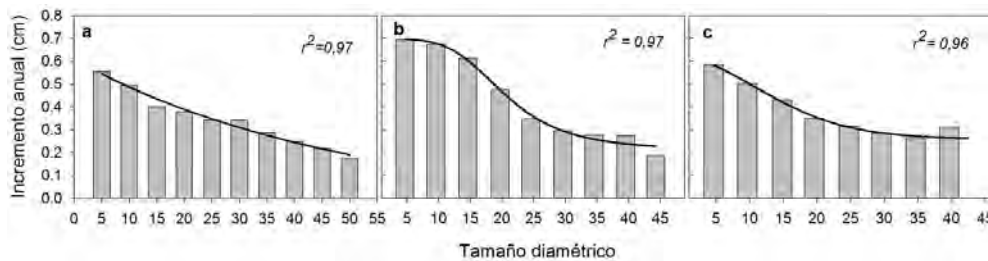


Figura 5.5. Incrementos por tamaño diamétrico para tres localidades del distrito biogeográfico Chiquitano y sus respectivos ajustes usando funciones no lineales. Los gráficos corresponden a la especie *C. microchaete* en: a, Concepción, b, Santa Anita y c, Zapocó.

La Tabla 5.3, muestra los incrementos medios por tamaño diámetro y los tiempos requeridos y acumulados para *C. microchaete* para pasar a los siguientes tamaños diamétricos. En la localidad de Concepción, *C. microchaete* requiere 110 años para alcanzar 40 cm de diámetro. Los menores incrementos diamétricos ocurren cuando los árboles sobrepasan los 40 cm de diámetro, a su vez, este tamaño diámetro muestra una consistencia con los períodos más largos (18 años) para pasar a la próxima clase diamétrica. En Santa Anita, *C. microchaete* para alcanzar 40 cm requiere de 100 años. Cuando los árboles alcanzan 35–40 cm de diámetro, se observan los incrementos menores, consistente con el período más largo (18 años) para avanzar a la siguiente clase diamétrica. En Zapocó, *C. microchaete* requiere 112 años para alcanzar 40 cm, el tamaño diamétrico con menor incremento es a los 30–35 cm de diámetro.

Cuando los árboles alcanzan una diámetro de 35 cm requieren un promedio de 20 años para avanzan a la siguiente clase diamétrica (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Tiempo transcurrido (Tiempo transc.) y acumulado (Tiempo acum.) para que *Centrolobium microchaete* en el distrito biogeográfico Chiquitano, pase de una clase diamétrica a la siguiente en rangos de 5 cm. Los valores con negrita corresponden a las clases dimétricos 35–40 cm, momento en que los árboles alcanzan los DMC de 40 cm establecidos por la Ley Forestal para esta región.

Localidad	Concepción				Santa Anita				Zapocó			
	ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)	
Diámetro (cm)	Cm	n	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	n	Tiempo transc.	Tiempo Acum.	cm	n	Tiempo transc.	Tiempo Acum.
5	0,55	34	9	9	0,69	37	7	7	0,58	19	8	8
10	0,49	36	9	18	0,67	40	7	14	0,50	22	10	18
15	0,40	37	13	31	0,41	40	8	22	0,42	23	12	30
20	0,38	37	13	44	0,47	41	11	33	0,34	21	14	44
25	0,34	37	15	59	0,34	41	14	47	0,31	21	16	60
30	0,34	37	14	73	0,29	37	17	64	0,28	18	17	77
35	0,28	27	18	91	0,27	28	18	82	0,26	9	20	97
<b>40</b>	<b>0,24</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>110</b>	<b>0,27</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>100</b>	<b>0,31</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>112</b>

En la Figura 5.6, se muestran los incrementos medios por clase diamétrica para *Ficus boliviana*, *Hymenaea courbaril* y *Cariniana ianeirensis*, especies procedentes del distrito biogeográfico de Guarayos. *F. boliviana* presenta el mayor incremento entre los tamaños diamétricos 30–70 cm, observándose una reducción del incremento en los tamaños diamétricos iniciales y mas grandes (Fig. 5.6 a). *H. courbaril* presenta menores incrementos en los diámetros más grandes y *C. ianeirensis* muestra una tendencia casi lineal en todo el período analizado.

En la Tabla 5.4, se presentan los incrementos por tamaño diamétrico para las tres especies ya mencionadas. *F. boliviana* requiere de 43 años para alcanzar 50 cm. Los menores incrementos diamétricos ocurren generalmente al inicio del crecimiento entre los 5–15 cm de diámetro, a su vez, este tamaño diamétrico es consistente con los períodos más largos (6 años) para pasar a la siguiente clase diamétrica. *H. courbaril*, alcanza los 50 cm en 85 años, registrándose los incrementos radiales menores entre los 5–10 cm. Cuando los árboles alcanzan un diámetro de 45 cm requieren un promedio de 15 años para avanzar a la siguiente clase diamétrica.

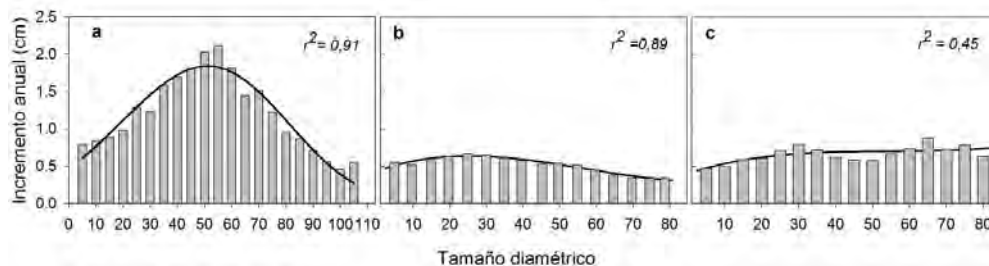


Figura 5.6. Incrementos por tamaño diamétrico para tres especies forestales del distrito biogeográfico de Guarayos y sus respectivos ajustes usando funciones no lineales. **a**, *Ficus boliviana*, **b**, *Hymenaea courbaril* y **c**, *Cariniana ianeirensis*.

Para *Cariniana ianeirensis* el tiempo necesario para alcanzar 50 cm es de 82 años, los menores incrementos se registran entre los 5–10 cm de diámetro y estos tamaños diamétricos requieren el período más largo para pasar al siguiente tamaño diamétrico (Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Tiempo transcurrido (Tiempo transc.) y acumulado (Tiempo acum.) para que tres especies del distrito biogeográfico de Guarayos, pasen de una clase diamétrica a la siguiente en rangos de 5 cm. Los valores con negrita corresponden a las clases diamétricas 45–50 cm, momento en que los árboles alcanzan el DMC de 50 cm establecidos por Ley Forestal de Bolivia para este distrito.

Especie	<i>Ficus boliviana</i>				<i>Hymenaea courbaril</i>				<i>Cariniana ianeirensis</i>			
	ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)	
Diámetro (cm)	Cm	n	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	n	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	n	Tiempo transc.	Tiempo acum.
10	0,83	13	6	12	0,52	36	9	18	0,49	9	10	10
15	0,89	13	6	18	0,57	36	9	27	0,59	9	9	29
20	0,98	13	5	23	0,63	36	8	35	0,61	9	8	37
25	1,28	13	4	27	0,66	36	7	42	0,70	9	7	44
30	1,22	10	4	31	0,63	36	8	50	0,79	9	7	51
35	1,66	10	3	34	0,61	34	8	58	0,72	9	6	57
40	1,58	10	3	37	0,58	32	8	66	0,62	8	8	65
45	1,69	10	3	40	0,53	32	11	77	0,58	7	9	74
<b>50</b>	<b>1,80</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>43</b>	<b>0,54</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>85</b>	<b>0,58</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>82</b>

La Figura 5.7, presenta los incrementos medios por tamaño diamétrico para *C. microchaete* correspondiente a las tres las localidades del distrito biogeográfico de Guarayos, concretamente a las localidades de Santa Mónica, Makanaté y Guarayos–LC. En Santa



Mónica y Makanaté, los mayores incrementos se observan en los tamaños diamétricos menores, con una tendencia persistente de reducción del incremento hacia los diámetros más grandes. En cambio en Guarayos–LC, se observa una tendencia lineal durante los 70 cm, diámetro al que alcanzan los individuos colectados de *C. microchaete* en esta localidad.

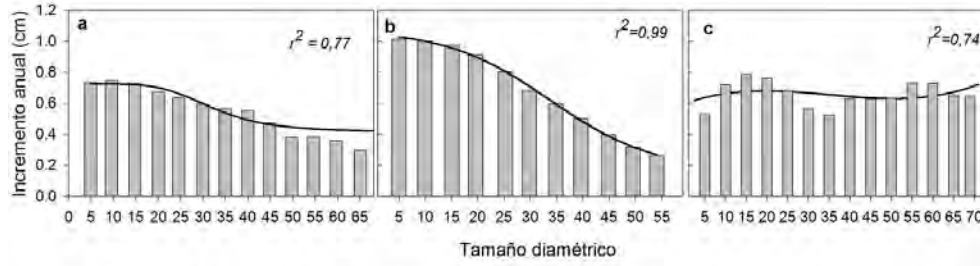


Figura 5.7. Incrementos medios por tamaño diamétrico para *Centrolobium microchaete* en las tres localidades del distrito biogeográfico de Guarayos y sus respectivos ajustes usando funciones no lineales. a, Santa Mónica, b, Makanaté y c, Guarayos–LC.

Tabla 5.5. Tiempo transcurrido (Tiempo transc.) y acumulado (Tiempo acum.) para que los árboles de *Centrolobium microchaete* en el distrito biogeográfico de Guarayos, pasen de una clase diamétrica a la siguiente en rangos de 5 cm. Los valores con negrita corresponden a la clase diamétrica 45–50 cm, momento en que los árboles alcanzan los DMC de 50 cm establecidos por la Ley Forestal de Bolivia.

Localidad	Santa Mónica				Makanaté				Guarayos–La Chonta (LC)			
	ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)		ICA		Edad (años)	
Diámetro (cm)	Cm	n	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	n	Tiempo transc.	Tiempo acum.	cm	n	Tiempo transc.	Tiempo acum.
5	0,73	44	7	7	1,01	23	5	5	0,52	21	10	10
10	0,74	47	6	13	1,00	23	5	10	0,72	23	6	16
15	0,72	48	7	20	0,97	25	5	15	0,78	23	7	23
20	0,67	49	8	28	0,91	26	5	20	0,76	21	6	29
25	0,63	50	7	35	0,80	26	7	27	0,68	19	7	36
30	0,59	50	9	44	0,68	26	7	34	0,56	18	9	45
35	0,56	50	9	53	0,59	24	8	42	0,52	17	11	56
40	0,55	49	9	62	0,50	23	10	52	0,63	13	7	63
45	0,47	42	10	72	0,39	15	13	65	0,62	11	7	70
<b>50</b>	<b>0,38</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>85</b>	<b>0,31</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>80</b>	<b>0,63</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>80</b>

En la Tabla 5.5, se indican detalladamente los incrementos medios por tamaño diamétrico y los tiempos requeridos y acumulados para que *C. microchaete* alcance en las localidades del distrito biogeográfico de Guarayos. En la localidad de Santa Mónica, *C. microchaete* requiere 85 años para alcanzar 50 cm.

Los menores incrementos diamétricos ocurren cuando los árboles de esta especie alcanzan 40–50 cm de diámetro aproximadamente. A estos tamaños diamétricos los árboles requieren de un promedio de 10 años para avanzar a la siguiente clase diamétrica. En Makanaté, *C. microchaete* necesita 80 años para alcanzar 50 cm de diámetro, el menor incremento diamétrico se observa entre 40–50 cm de diámetro. El cual también es consistente con el período más largo (15 años) para pasar a la siguiente clase diamétrica. En Guarayos–LC, los árboles de *C. microchaete* requieren de 80 años para llegar a un diámetro de 50 cm. El menor incremento fu registrado a los 25–35 cm de diámetro, a su vez, a estos diámetros requieren en promedio de 11 años para avanzar a la siguiente clase diamétrica (Tabla 5.5).

### 3.2. Estimación de los diámetros óptimos de corte

#### *Amburana cearensis*

La edad preferente de cosecha para esta especie, estaría comprendido entre los 95 y 122 años, momentos en que el *ICABA* y el *IMABA* alcanzan sus máximos valores, respectivamente ( $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$ ; Fig. 5.8, arriba). Específicamente a la edad cuando esta especie alcanza los máximos *ICABA* e *IMABA*, el diámetro óptimo de corte para *A. cearensis*, oscilaría entre los 55 y 67 cm, respectivamente (Fig. 5.8, abajo).

Aplicando el método GOL de Schöngart (2008), que tiene en cuenta principalmente el valor del  $ICABA_{máx}$ , el DOC sería de 55 cm de diámetro, 15 cm más que el actual DMC propuesto por la Ley Forestal de Bolivia. El ciclo de corte empleando el criterio de Schöngart (2008) que pretende regresar al bosque cada vez que los árboles alcancen incrementos diamétricos de 10 cm desde la última cosecha es 17,27 años.

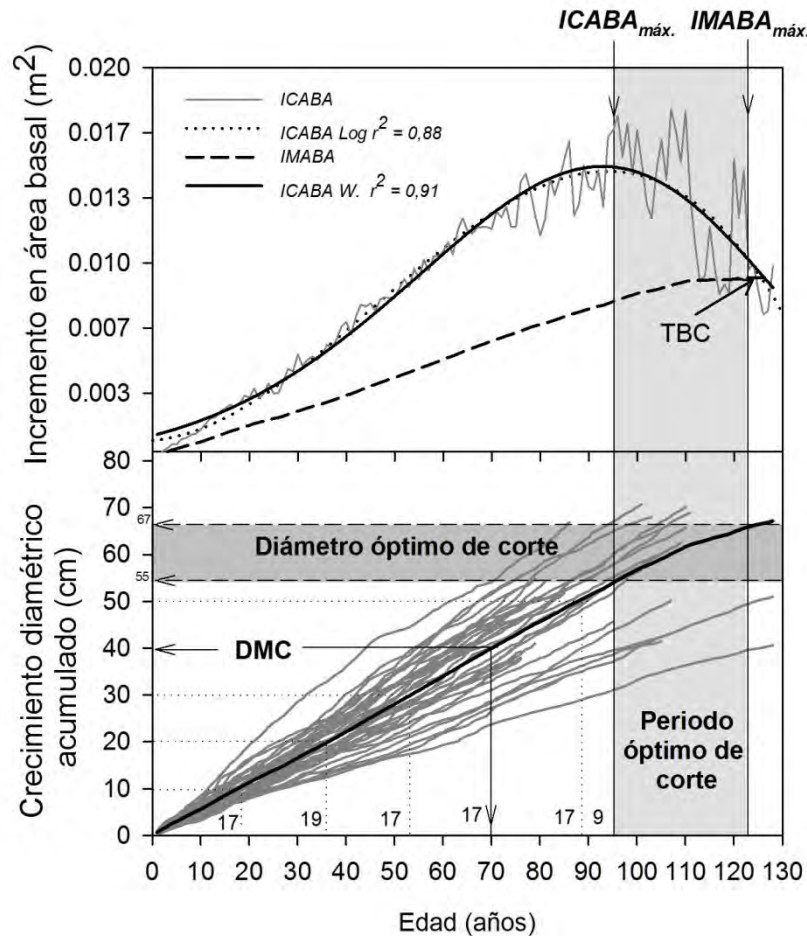


Figura. 5.8. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Amburana cearensis* en la localidad de Santa Anita. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 95 a 122 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 55 a 67 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 70 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 19 años para que los árboles con 10 cm de diámetro alcancen los 20 cm.

### *Anadenanthera colubrina*

Esta especie presenta un amplio rango relativo de tiempo para su cosecha. El diámetro óptimo de corte entre los valores de  $ICABA_{máx.}$  y de  $IMABA_{máx.}$  oscilaría entre los 34 y 47 cm de diámetro (Fig. 5.9, abajo). El tiempo requerido para alcanzar estos valores varía entre 62 y 108 años (Fig. 5.9). Basados en el método GOL, *A. colubrina* alcanzaría el DOC a los 34 cm de diámetro. En relación al DMC propuesto por la Ley Forestal Boliviana, el valor estimado del

DOC empleando la propuesta GOL sería 6 cm menos. EL ciclo de corte basado en incrementos de 10 cm de diámetro es de 17,64 años aproximadamente.

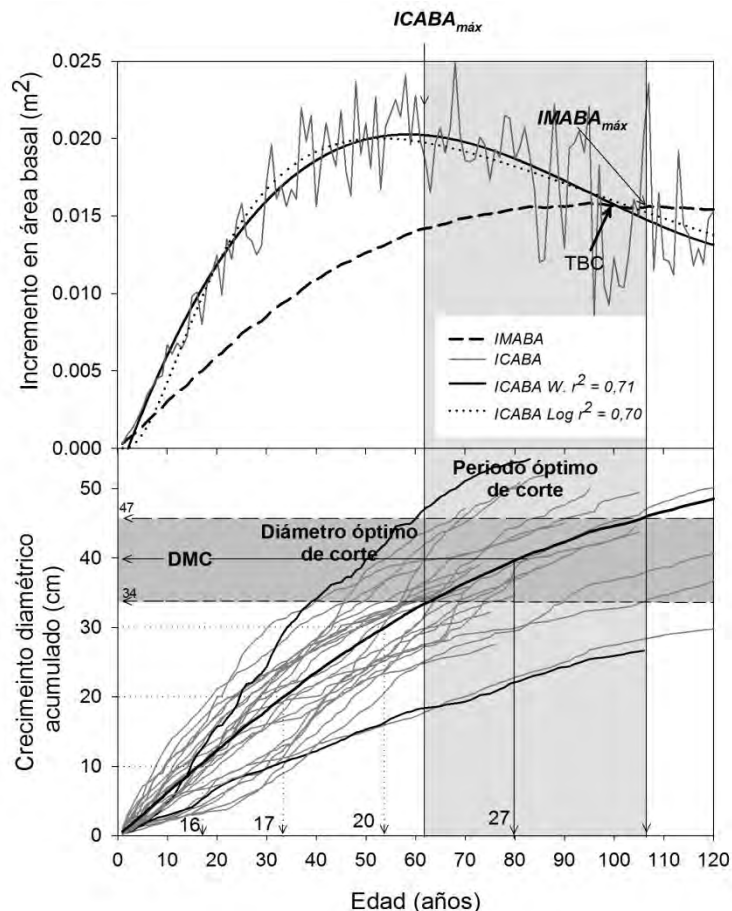


Figura 5.9. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Anadenanthera colubrina* en la localidad de Concepción. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$  de 62 a 108 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 34 a 47 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 80 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 27 años para que los árboles con 30 cm de diámetro alcancen los 40 cm.

***Cariniana ianeirensis***

La edad proferente para la cosecha estaría comprendido entre los 82 y 109 años, momento en que el *ICABA* y el *IMABA* alcanzan sus máximos valores, en ambos casos ( $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$ ; Fig. 5.10, arriba).

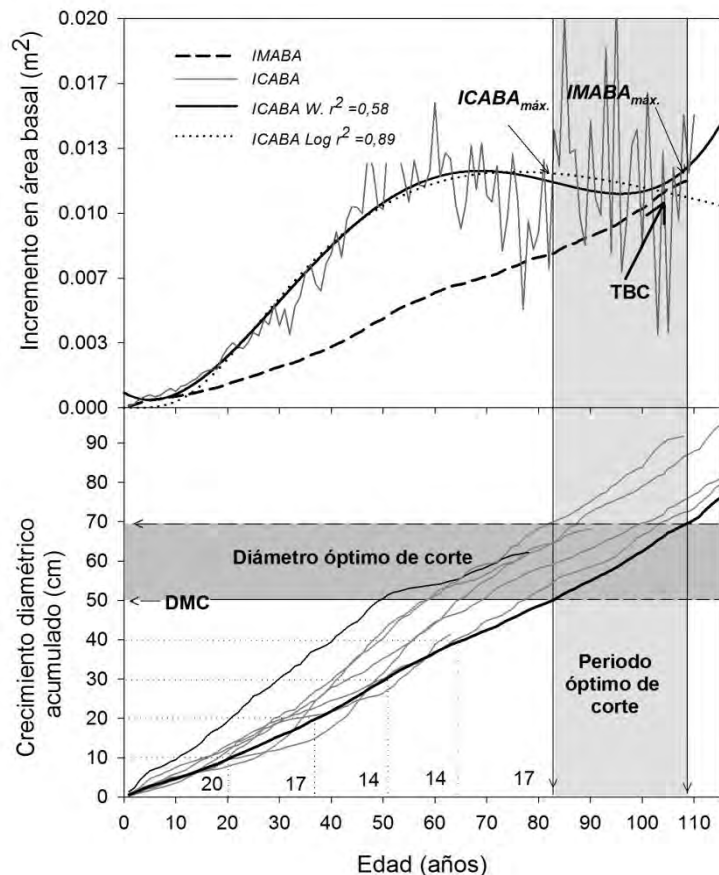


Figura 5.10. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Cariniana ianeirensis* en la localidad de Guarayos–LC. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 83 a 109 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 50 a 70 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 50 cm correspondiente a una edad promedio de 84 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 17 años para que los árboles con 40 cm de diámetro alcancen los 50 cm.

Específicamente a la edad cuando esta especie alcanza los máximos *ICABA* e *IMABA*, el diámetro óptimo de corte para *C. ianeirensis* estaría comprendido entre los 50 y 70 cm, respectivamente (Fig. 5.10 abajo).

Aplicando el método GOL de Schöngart (2008), que toma en cuenta principalmente el valor del  $ICABA_{máx.}$ , el DOC sería de 50 cm, altamente consistente al actual DMC propuesto por Ley forestal 1700 de Bolivia. Los ciclos de corte empleando el criterio de Schöngart (2008) basados en incrementos diamétricos de 10 cm, es de 16,4 años.

*Cedrela fissilis*

Esta especie presenta un amplio rango relativo de tiempo para su cosecha dado por la gran diferencia temporal entre el  $ICABA_{máx.}$  y el  $IMABA_{máx.}$ .

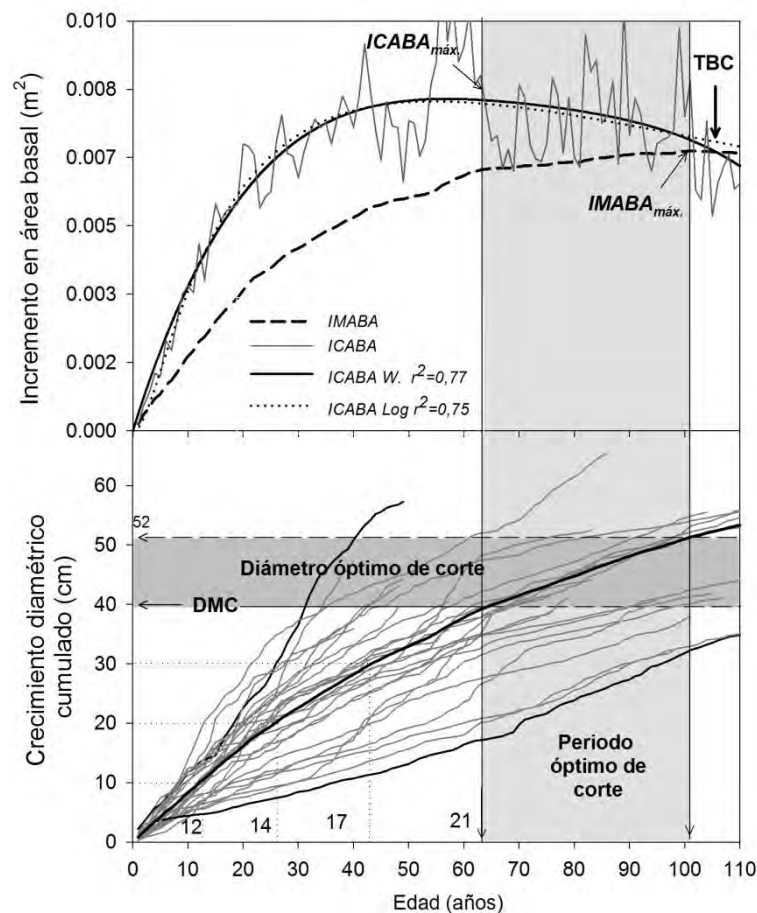


Figura 5.11. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Cedrela fissilis* en la localidad de Santa Anita. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 63 a 102 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 40 a 52 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 62 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 21 años para que los árboles con 30 cm de diámetro alcancen los 40 cm.

El diámetro óptimo de corte (DOC) cuando el  $ICABA_{máx.}$  y de  $IMABA_{máx.}$  alcanza sus máximos valores entre los 40 y 52 cm (Fig. 5.11, abajo). El tiempo requerido para alcázar este valor varía entre los 63 y 102 años (Fig. 5.11).

Siguiendo los procedimientos del método GOL, *C. ianeirensis* alcanzaría el DOC a los 40–52 cm de diámetro, comprendidos en un período de 63–103 años (Fig. 5.11 abajo). El ciclo de corte (CC) sería de 15,75 años aproximadamente, cuando se tienen pensado volver al bosque cada vez que los árboles de esta especie incrementen 10 cm en sus diámetros.

### ***Centrolobium microchaete***

Esta especie, como en todos los capítulos de la presente tesis doctoral, se analiza para los 6 sitios de muestreo. Esto facilita la comparación entre sitios ambientalmente distintos y sus relaciones con las velocidades del crecimiento.

### **Concepción**

Esta especie presenta un amplio rango de tiempo para su cosecha en base a GOL (Schöngart, 2008). El DOC para *C. microchaete* en esta localidad, considerando los valores de  $ICABA_{máx.}$  y de  $IMABA_{máx.}$  se encuentra entre los 37 y 46 cm (Fig. 5.12 abajo). El tiempo requerido para alcanzar estos valores varía entre 95 y 134 años.

Aplicando el método GOL de Schöngart (2008), el DOC estimado alcanzaría a los 37 cm de diámetro. En relación al actual DMC propuesto por la Ley Forestal de Bolivia, el valor estimado del DOC vasados en la propuesta GOL se alcanzaría 3 cm antes. El ciclo de corte propuesto basado en incrementos diamétricos de 10 cm sería de 25,67 años (Fig. 5.12).

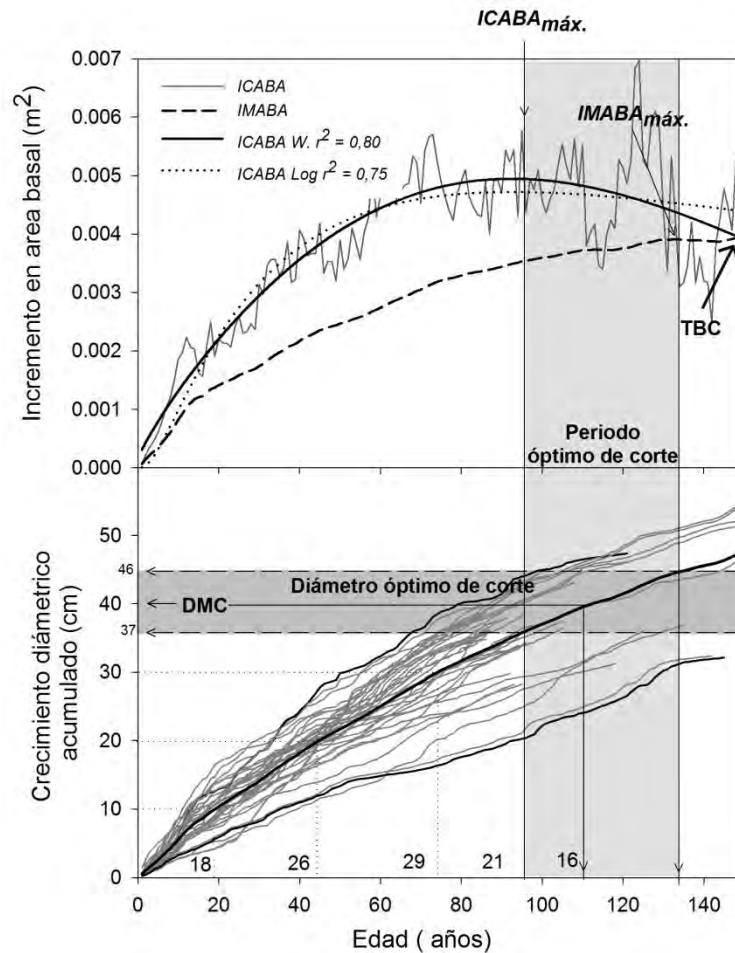


Figura 5.12. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Centrolobium microchaete* en la localidad de Concepción. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 95 a 134 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 37 a 46 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 110 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 37 años para que los árboles con 30 cm de diámetro alcancen los 40 cm.

### Santa Mónica

En esta localidad *Centrolobium microchaete*, presenta un amplio período preferente de cosecha, el cual estaría comprendido entre los 81 hasta 116 años, momento en que el *ICABA* y el *IMABA* alcanzan sus máximos valores, respectivamente ( $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$ ; Fig. 5.13 arriba). Particularmente a la edad cuando esta especie alcanza los máximos *ICABA* e *IMABA*, el diámetro óptimo de corte está comprendido entre los 47 y 61 cm (Fig. 5.13 abajo).



Aplicando el método GOL de Schöngart (2008), que considera principalmente el valor de  $ICABA_{máx}$ , el DOC sería de 47 cm de diámetro, 3 cm menos que el actual DMC propuesto por Ley para esta región. Siguiendo la propuesta de GOL, de volver al bosque cada vez que los árboles alcancen incrementos diamétricos de 10 cm, el ciclo de corte sería de 17,23 años.

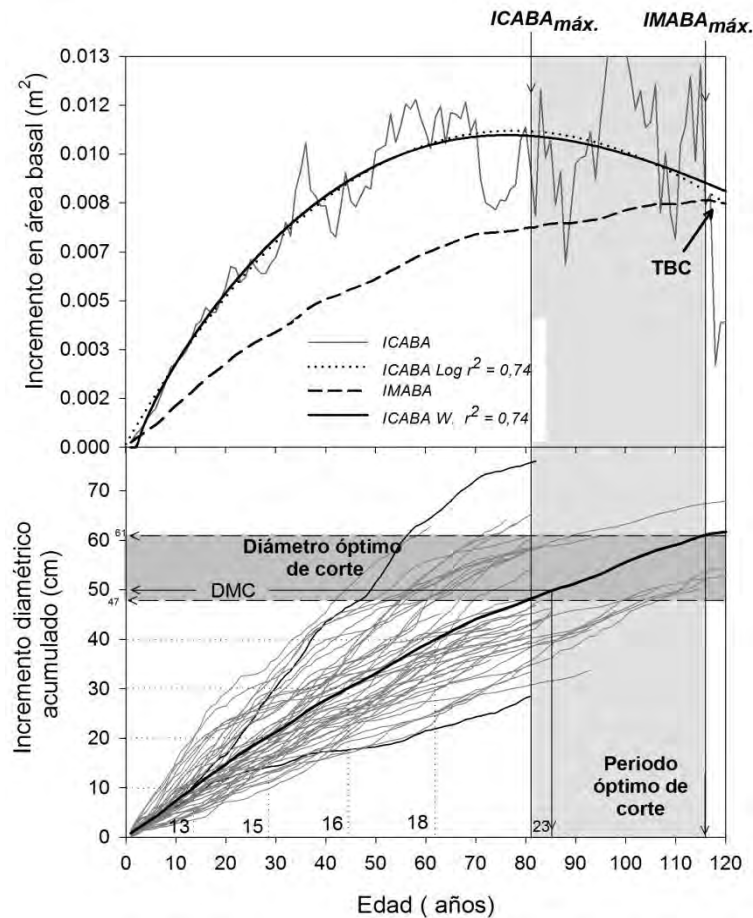


Figura 5.13. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente ( $ICABA$ ) y medio ( $IMABA$ ) para *Centrolobium microchaete* en la localidad de Santa Mónica. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$  de 81 a 116 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 47 a 61 cm. El DMC establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 50 cm correspondiente a una edad promedio de 85 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 23 años para que los árboles con 40 cm de diámetro alcancen los 50 cm.

### Santa Anita

La especie *Centrolobium microchaete*, en esta localidad presenta un amplio rango relativo de tiempo para la cosecha. El DOC que estaría situado entre los valores de  $ICABA_{máx}$ , y de

$IMABA_{m\acute{a}x}$  oscilaría entre los 33 y 43 cm (Fig. 5.14 abajo). El período óptimo cuando alcanza estos valores varía entre 76 y 117 años (Fig. 5.14).

Aplicando el método GOL, que considera principalmente el valor  $ICABA_{m\acute{a}x}$ , el DOC sería de 33 cm de diámetro, 7 cm menor que el actual DMC propuesto para esta especie en Bolivia. El ciclo de corte empleando el criterio de Schöngart (2008) sería de 22,12 años, tiempo necesario para incrementar el diámetro en 10 cm.

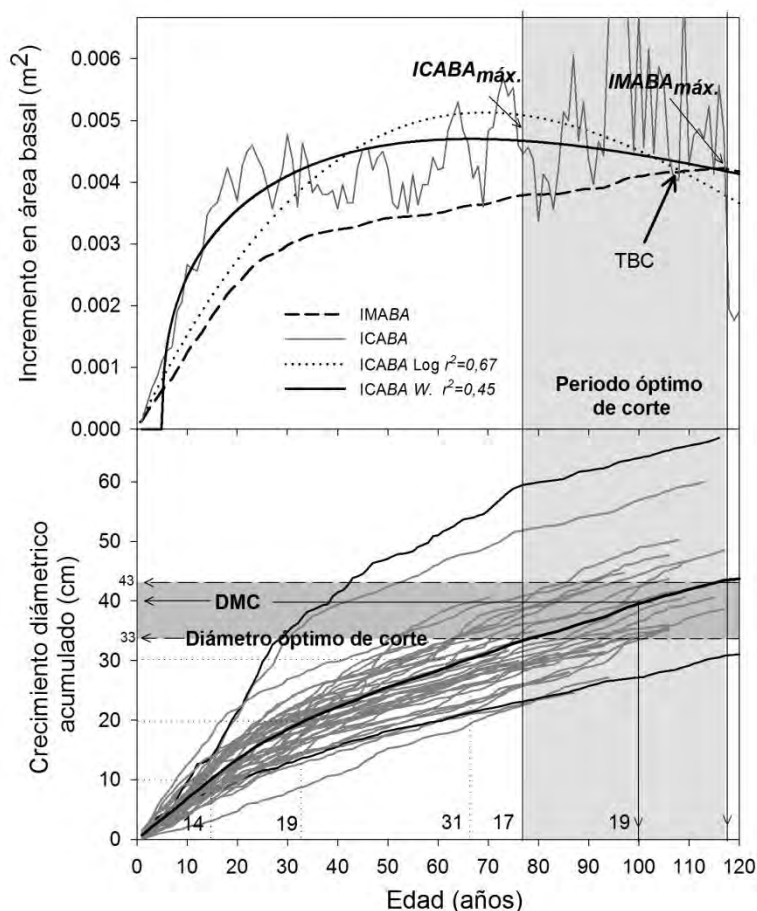


Figura 5.14. Crecimiento diámetro acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente ( $ICABA$ ) y medio ( $IMABA$ ) para *Centrolobium microchaete* en la localidad de Santa Anita. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{m\acute{a}x}$  e  $IMABA_{m\acute{a}x}$  de 76 a 117 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 33 a 43 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 100 años. Los tiempos de paso en rangos diámetros de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 36 años para que los árboles con 30 cm de diámetro alcancen los 40 cm.

**Zapocó**

En esta localidad, *Centrolobium microchaete*, tienen un amplio rango preferente para su cosecha. El diámetro óptimo de corte está comprendido entre los 33 y 40 cm de diámetro, basados en los valores de  $ICABA_{máx.}$  y del  $IMABA_{máx.}$ , (Fig. 5.15 abajo). El tiempo requerido para alcanzar estos valores varía entre 90 y probablemente superior a los 110 años, como se puede observar en la Figura 5.15 (arriba).

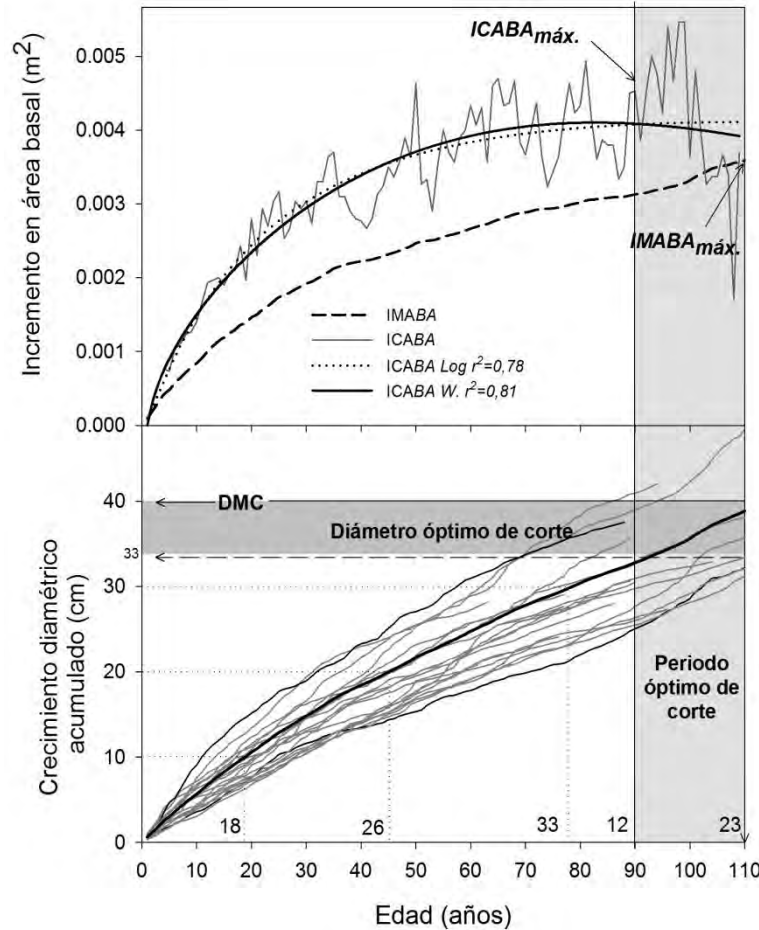


Figura 5.15. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente ( $ICABA$ ) y medio ( $IMABA$ ) para *Centrolobium microchaete* en la localidad de Zapocó. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 90 a 110 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 33 a 40 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 110 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 26 años para que los árboles con 10 cm de diámetro alcancen los 20 cm.

Siguiendo los procedimientos del método GOL, esta especie alcanzaría el DOC a los 33 cm de diámetro. En relación al DMC propuesto por Ley para esta región, el valor estimado del DOC sería 7 cm menos. El ciclo de corte basado en incrementos diamétricos de 10 cm sería de 27,27 años.

### Makanaté

En esta localidad *Centrolobium microchaete*, presenta un amplio período para la cosecha.

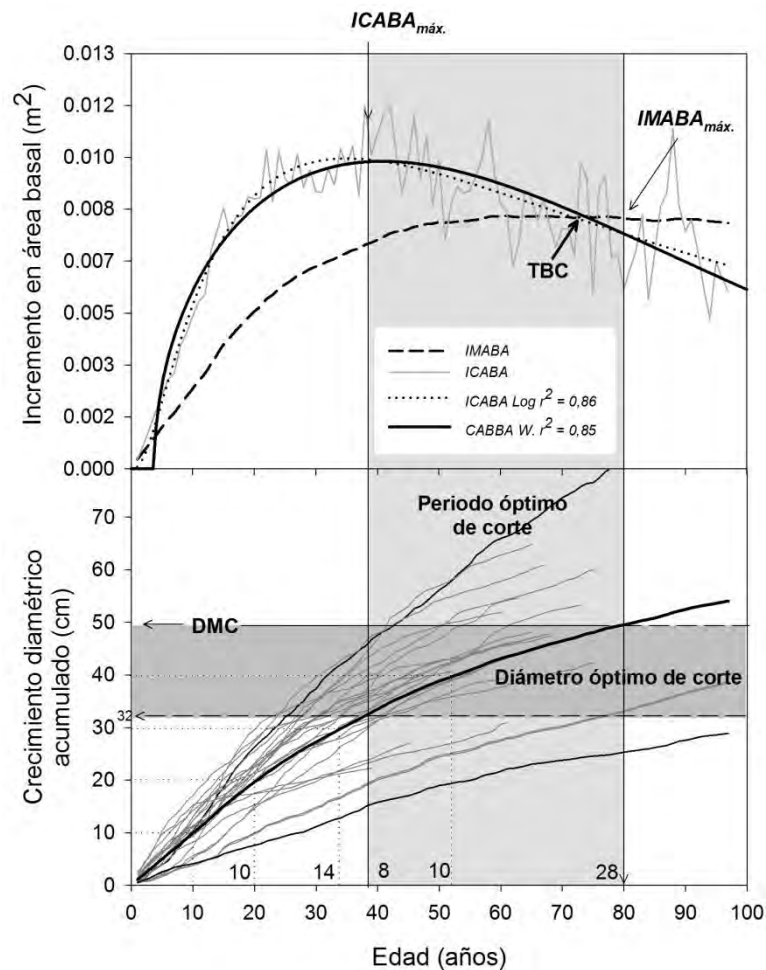


Figura 5.16. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (ICABA) y medio (IMABA) para *Centrolobium microchaete* en la localidad de Makanaté. El período en años comprendido entre el ICABA<sub>máx.</sub> e IMABA<sub>máx.</sub> de 38 a 80 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 32 a 50 cm. El DMC establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 50 cm correspondiente a una edad promedio de 80 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 28 años para que los árboles con 40 cm de diámetro alcancen los 50 cm.

La edad preferente oscila entre los 38 hasta los 80 años, momento en que el *ICABA* y los *IMABA* alcanzan sus máximos valores, respectivamente ( $ICABA_{máx}$  e  $IMABA_{máx}$ ; Fig. 5.16 arriba).

El diámetro óptimo de corte oscila entre los 32 y 50 cm. Empleando la metodología GOL, que considera principalmente el valor de  $ICABA_{máx}$ , el DOC sería de 32 cm de diámetro, 18 cm menos que el actual DMC propuesto por Ley para esta región. Siguiendo la misma metodología GOL, el ciclo de corte para esta especie basada en 10 cm de diámetro es de 11,87 años de edad.

### **Guarayos–La Chonta (LC)**

En esta localidad *Centrolobium microchaete* presenta un amplio rango relativo de tiempo para la cosecha. El diámetro óptimo de corte estaría comprendido entre los valores del  $ICABA_{máx}$ , y el  $IMABA_{máx}$  los cuales oscilan en 32 y 50 cm (Fig. 5.17, abajo). El período óptimo cuando alcanza estos valores varía entre 44 y probablemente superior a 70 años (Fig. 5.17).

Siguiendo la metodología GOL, que considera principalmente el valor  $ICABA_{máx}$ , el DOC sería a los 29 cm de diámetro, 21 cm menor que el actual DMC propuesto por Ley forestal en Bolivia. Basados en la metodología (GOL), que propone volver al bosque cada vez que los árboles alcancen incrementos diamétricos de 10 cm, el ciclo de corte sería de 13,75 años. En general esta especie en este sitio requiere un promedio de 13,75 años para alcanzar crecimientos diamétricos de 10 cm.

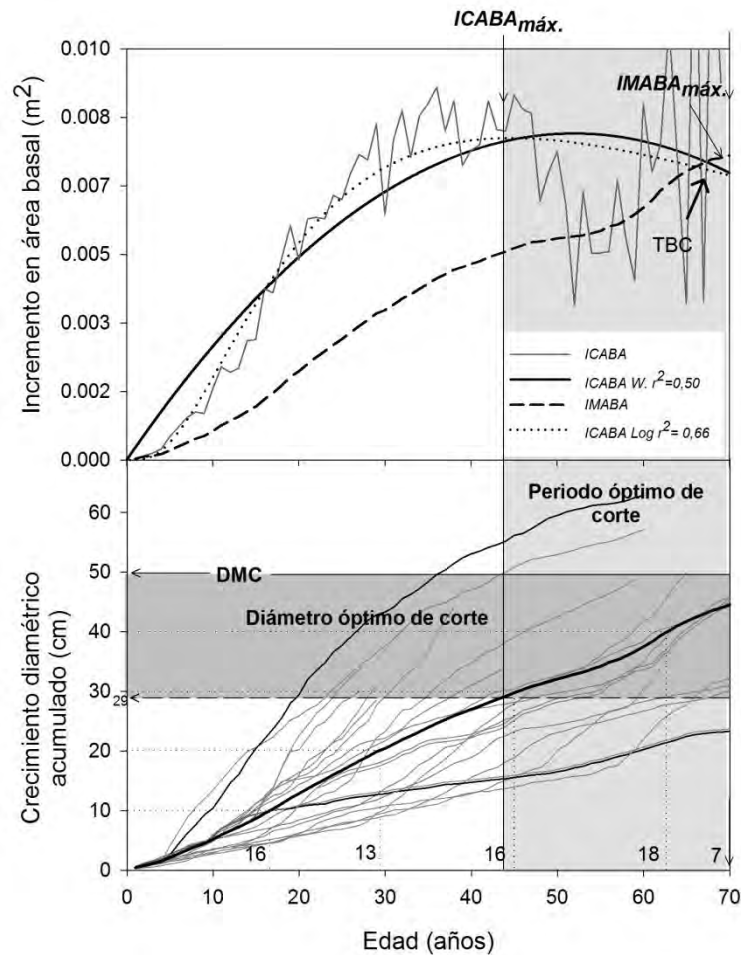


Figura 5.17. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (ICABA) y medio (IMABA) para *Centrolobium microchaete* en la localidad de Guarayos-LC. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 44 a 70 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 29 a 50 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 70 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 13 años para que los árboles con 10 cm de diámetro alcancen los 20 cm.

### *Copaifera chodatiana*

Esta especie presenta un período preferente para su cosecha comprendido entre los 85 y 103 años, cuando los ICABA y los IMABA alcanzan sus máximos valores ( $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$ , Fig. 5.18 arriba). El diámetro óptimo de corte oscila entre 30 y 37 cm de diámetro (Fig. 5.18). Siguiendo el método GOL propuesta por Schöngart (2008), *C. chodatiana* alcanzaría el DOC a los 30 cm de diámetro. En comparación con el actual DMC propuesto en los planes de

manejo forestal en Bolivia, el valor estimado del DOC sería 10 cm menos. Basados en este mismo método, el ciclo de corte estimado, donde se considera principalmente el  $ICABA_{m\acute{a}x}$ , y volver al bosque cada vez que alcáncense registren incrementos de 10 cm de diámetro es de 28,33 años.

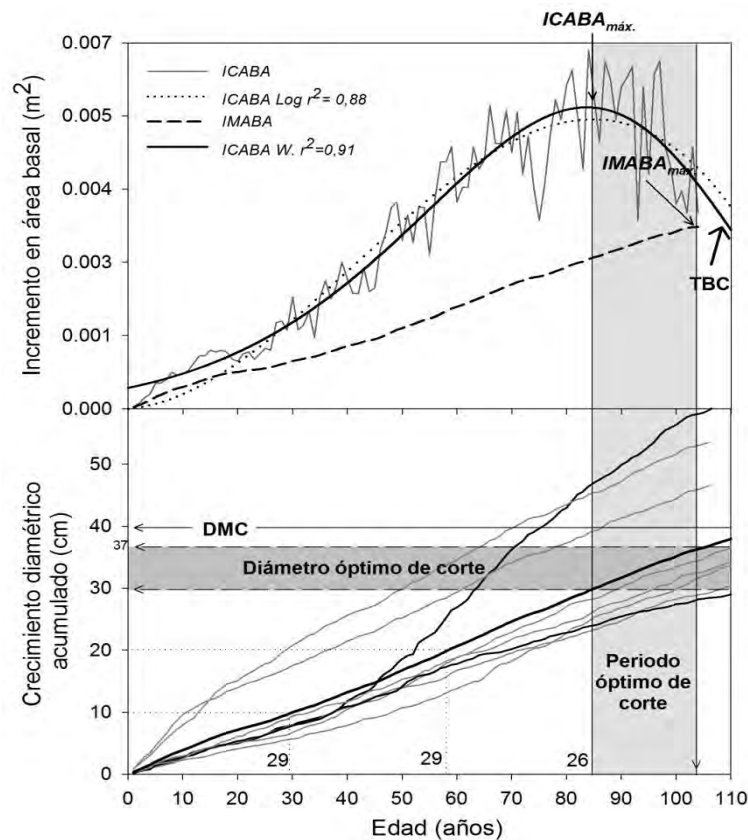


Figura 5.18. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente ( $ICABA$ ) y medio ( $IMABA$ ) para *Copaiifera chodatiana* en la localidad de Concepción. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{m\acute{a}x}$  e  $IMABA_{m\acute{a}x}$  de 85 a 103 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 30 a 37 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio superior a 110 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 29 años para que los árboles con 10 cm de diámetro alcancen los 20 cm.

### *Ficus boliviana*

Esta especie presenta un amplio período relativo para la cosecha. La edad preferente está comprendida entre los 55 y 95 años, momento en que  $ICABA$  y los  $IMABA$  alcanzan sus

máximos valores ( $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$ ; Fig. 5.19, arriba). El diámetro óptimo de corte oscila entre 72 y 103 cm de diámetro (Fig. 5.19).

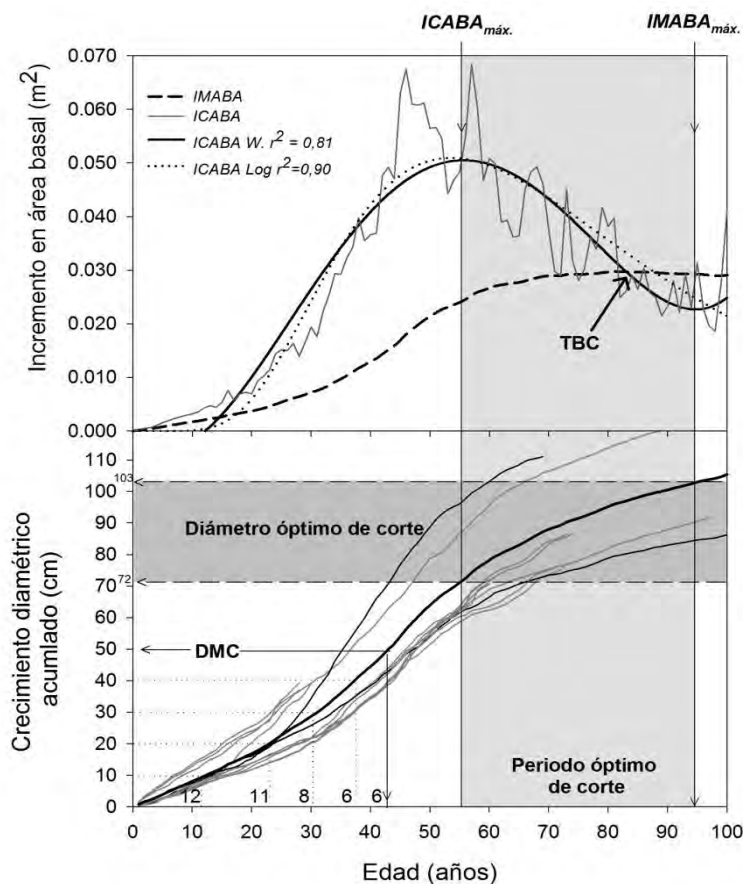


Figura 5.19. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente ( $ICABA$ ) y medio ( $IMABA$ ) para *Ficus boliviana* en la localidad de Guarayos-LC. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 55 a 95 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 72 a 103 cm. El DMC establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 50 cm correspondiente a una edad promedio de 43 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 11 años para que los árboles con 20 cm de diámetro alcancen los 30 cm.

De acuerdo a la metodología GOL propuesto por Schöngart (2008), que considera principalmente los valores de  $ICABA_{máx.}$ , el DOC para esta especie alcanzaría a los 72 cm de diámetro, 22 cm más que el DMC actualmente propuesto para esta especie por la ley forestal boliviana. Basados en este mismo método, el ciclo de corte, o el tiempo promedio necesario para que esta especie alcance incrementos diámetros de 10 cm, es de 7,63 años.



***Hymenaea courbaril***

Para esta especie, el período preferente para la cosecha está comprendido entre 93 y 120 años, cuando los *ICABA* y los *IMABA* alcanzan sus máximos valores ( $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$ ; Fig. 5.20 arriba). El diámetro óptimo de corte oscila entre 72 y 103cm de diámetro (Fig. 5.20). De acuerdo al método GOL propuesto por Schöngart (2008), donde considera principalmente el  $ICABA_{máx.}$ , el DOC sería de 55 cm de diámetro, 5 cm más que el DMC propuesto por la ley forestal boliviana. Siguiendo la metodología GOL, de volver al bosque cada vez que los árboles incrementen sus diámetros en 10 cm, es de 12, 91 años.

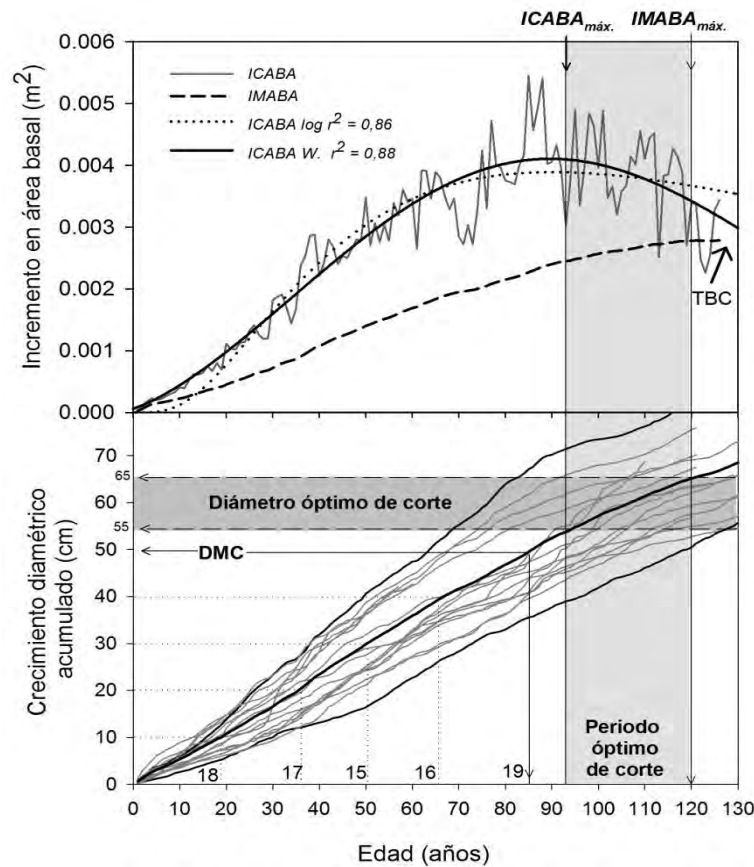


Figura 5.20. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Hymenaea courbaril* en la localidad de Guarayos-LC. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 95 a 120 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 55 a 65 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 85 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 19 años para que los árboles con 40 cm de diámetro alcancen los 50 cm.

***Machaerium scleroxylon***

Esta especie tiene período preferente para la cosecha que está comprendido entre los 100 años, o probablemente superior a esta, cuando los *ICABA* y los *IMABA* alcanzan sus máximos valores ( $ICABA_{máx.}$  y el  $IMABA_{máx.}$ ; Fig. 5.21, arriba).

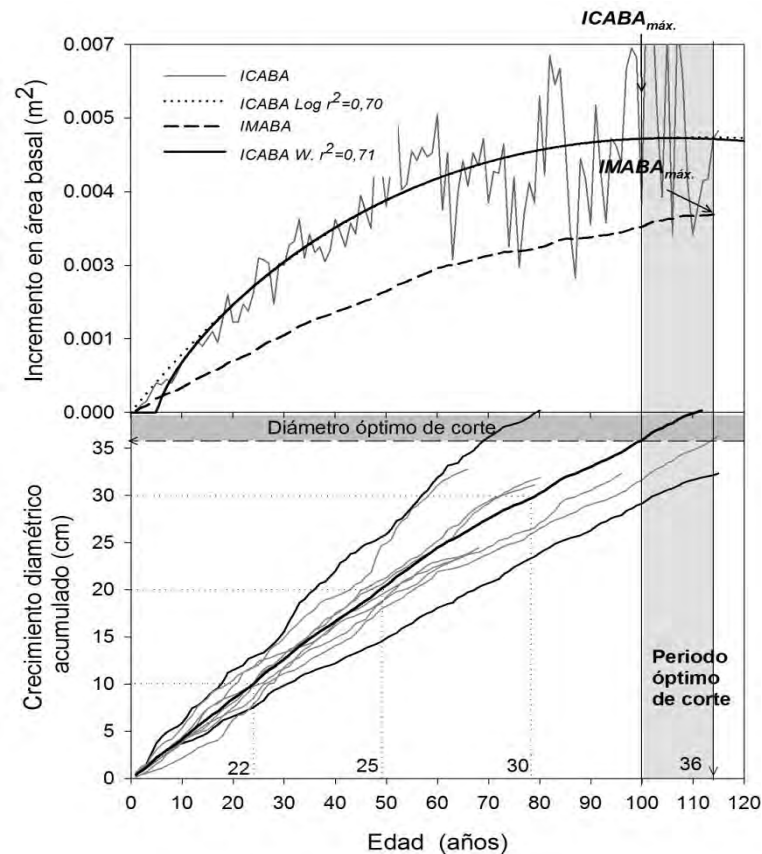


Figura 5.21. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Machaerium scleroxylon* en la localidad de Concepción. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 100 a 120 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 36 a >40 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 50 cm correspondiente a una edad promedio superior a 120 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 25 años para que los árboles con 10 cm de diámetro alcancen los 20 cm.

Los diámetros óptimos de corte estarían comprendidos probablemente desde los 36 cm y superior a 40 cm de diámetro (Fig. 5.21). Tomando los criterios establecidos por Schöngart (2008) en el modelo GOL, que considera principalmente el  $ICABA_{máx.}$ , DOC sería de 36 cm de

diámetro, probablemente 4 cm antes que el DMC actualmente propuesto para esta especie (40 cm) por la ley forestal boliviana. Basados en la propuesta GOL, de volver al bosque cada vez que los árboles alcanzan incrementos diamétricos de 10 cm, el ciclo de corte, es de 27,77 años.

***Platimiscium ulei***

Para esta especie, el período preferente para la cosecha está comprendido entre los 90 y 100 años, cuando los *ICABA* y los *IMABA* alcanzan sus máximos valores ( $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$ ; Fig. 5.22, arriba). El diámetro óptimo de corte está comprendido entre los 40 y 44 cm.

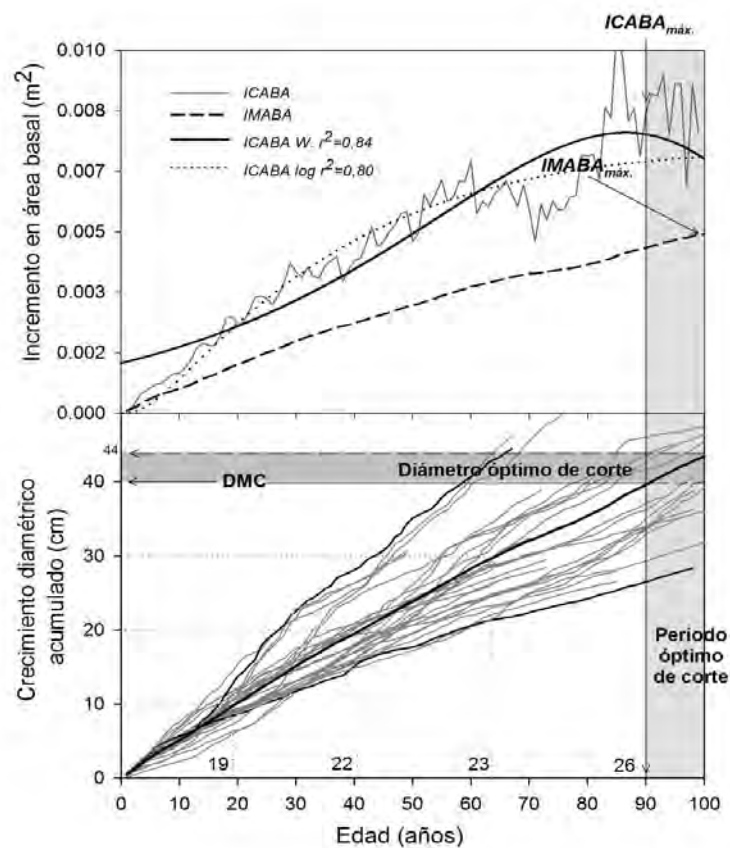


Figura 5.22. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente (*ICABA*) y medio (*IMABA*) para *Platimiscium ulei* en la localidad de Santa Anita. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  de 90 a 100 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 40 a 44 cm. El Diámetro Mínimo de Corte (DMC) establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 90 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 26 años para que los árboles con 30 cm de diámetro alcancen los 40 cm.

Siguiendo la propuesta GOL por Schöngart (2008), que considera principalmente el  $ICABA_{m\acute{a}x}$ , el DOC sería 40 cm de diámetro, valor consistente al propuesto en el DMC actualmente propuesto para esta especie por Ley. Basados en la propuesta GOL, de volver al bosque cada vez que los ejemplares de esta especie alcancen incremento diamétricos promedios de 10 cm, el ciclo de corte es de 22,50 años.

### *Zeyheria tuberculosa*

Esta especie presenta un amplio rango de tiempo para su cosecha, el período preferente oscila entre 80 y 110 años, cuando los  $ICABA$  y los  $IMABA$  alcanzan sus máximos valores ( $ICABA_{m\acute{a}x}$  e  $IMABA_{m\acute{a}x}$ ; Fig. 5.23 arriba). El diámetro óptimo de corte está comprendido entre los 29 y 37 cm de diámetro (Fig. 5.23).

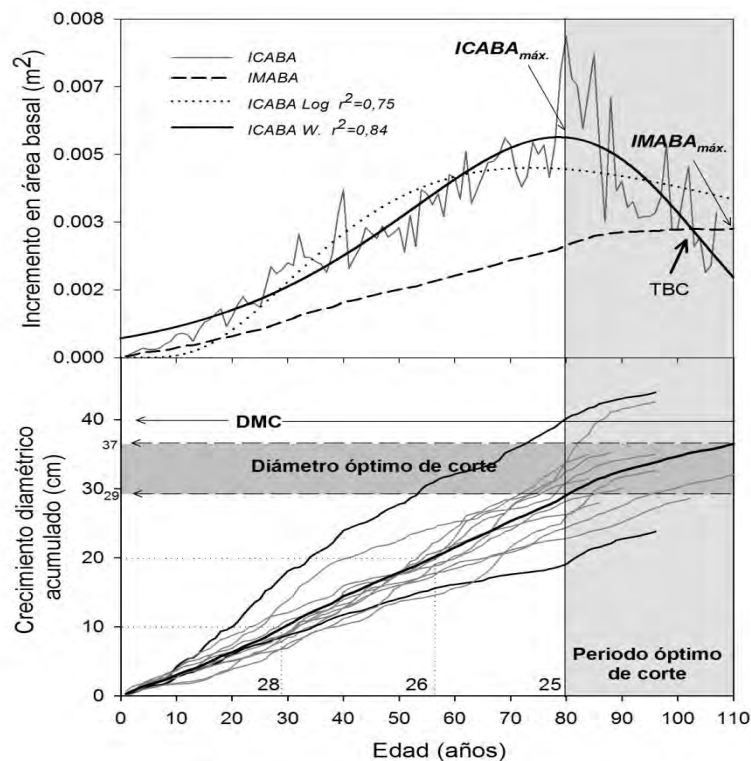


Figura 5.23. Crecimiento diamétrico acumulado (abajo) y sus correspondientes incrementos basales (arriba) corriente ( $ICABA$ ) y medio ( $IMABA$ ) para *Zeyheria tuberculosa* en la localidad de Concepción. El período en años comprendido entre el  $ICABA_{m\acute{a}x}$  e  $IMABA_{m\acute{a}x}$  de 80 a 110 años representa el período preferido para la corta. Consistente con este rango de edades, el diámetro óptimo de corte es de 29 a 37 cm. El DMC establecido para esta especie por la Ley Forestal Boliviana es de 40 cm correspondiente a una edad promedio de 110 años. Los tiempos de paso en rangos diamétricos de 10 cm se muestran sobre el eje X hasta alcanzar el diámetro óptimo de corte. En promedio, se requieren 26 años para que los árboles con 10 cm de diámetro alcancen los 20 cm.

De acuerdo al método GOL propuesto por Schöngart (2008), donde considera principalmente el  $ICABA_{máx}$ , el DOC sería de 29cm de diámetro, 11cm menos que el que se propone (DMC) para esta región por la Ley Forestal de Bolivia. Siguiendo este método, el ciclo de corte entre una cosecha y otra es de 27,58 años, basado en incrementos de 10 cm entre cortes.

### 3.3. Edad media de los árboles y los DMC basados en la densidad de la madera

La mayoría de las especies del Cerrado Boliviano tienen edades superiores a los 40 años al momento de alcanzar los diámetros mínimos de corte (DMC) propuestos por la Ley Forestal 1.700 de Bolivia (MDSMA 1997d). En especies del distrito biogeográfico Chiquitano con baja densidad en su madera ( $0,31-0,51\text{g/cm}^3$ ), tales como *A. cearensis* y *C. fissilis*, sus edades promedio, al momento de alcanzar los 40 cm de diámetro, son cercanas a los 65 y 70 años respectivamente. En cambio, las especies con alta densidad de la madera ( $0,52-0,86\text{g/cm}^3$ ) requieren entre 82 a 130 años para alcanzar 40 cm de diámetro (Fig. 5.24a).

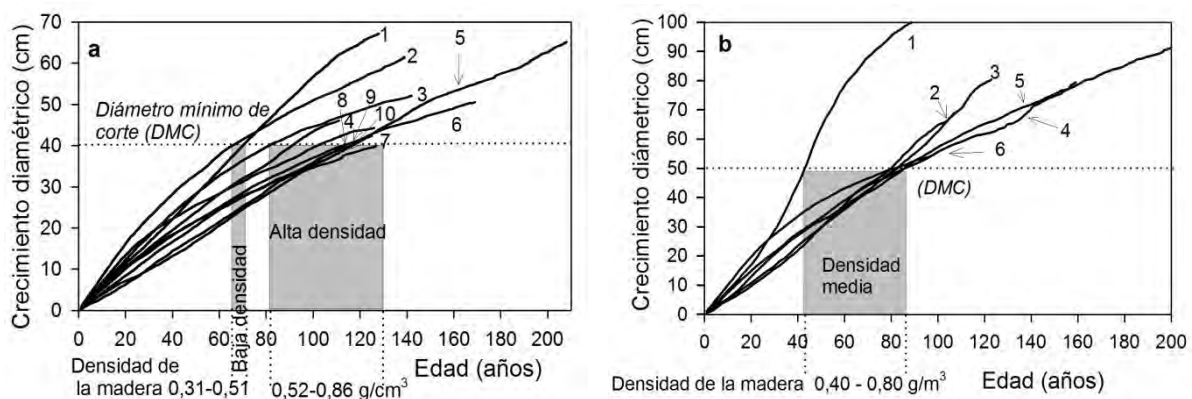


Figura 5.24. Relaciones entre crecimiento diamétrico, edad y densidad de madera para 11 especies forestales del Cerrado, Bolivia. (A) Especies del distrito Chiquitano, 1. *Amburana cearensis*, 2. *Cedrela fissilis*, 3. *Anadenanthera colubrina*, 4. *Platimiscium ulei*, 5. *Copaifera chodatiana*, 6. *Centrolobium microchaete* (Concepción), 7. *Zeyheria tuberculosa*, 8. *Machaerium scleroxylon*, 9. *Centrolobium microchaete* (Santa Anita), 10. *Centrolobium microchaete* (Zapocó). (B), Especies del distrito de Guarayos, 1. *Ficus boliviana*, 2. *Centrolobium microchaete* (La Chonta), 3. *Cariniana ianeirensis*, 4. *Centrolobium microchaete* (Santa Mónica), 5. *Hymenaea courbaril*, 6. *Centrolobium microchaete* (Makanaté). Los diámetros mínimos de corte (DMC) fijados para los dos distritos biogeográficos están indicados por una línea horizontal punteada.

Las especies pertenecientes al distrito biogeográfico de Guarayos, donde el DMC fijado por la Ley Forestal es de a 50 cm, (10 cm más que para especies del distrito biogeográfico Chiquitano) requieren un promedio de 87 años para alcanzar este diámetro. Solo *Ficus boliviana*, la especie con la más baja densidad del leño ( $0,42 \text{ g/cm}^3$ ), necesita 42 años para alcanzar 50 cm de diámetro (Fig. 5.24b).

Los valores de  $ICABA_{m\acute{a}x}$  e  $IMABA_{m\acute{a}x}$  están significativamente correlacionados con la densidad de la madera. La correlación entre la densidad de la madera, el  $ICABA_{m\acute{a}x}$  y el  $IMABA_{m\acute{a}x}$  son  $r = 0,56$  ( $p=0,001$ ) y  $r = 0,74$  ( $p=0,001$ ), respectivamente (Fig. 5.25a).

En la Figura 5.25, se puede apreciar claramente que para las especies con baja densidad ( $0,4 \text{ g/cm}^3$ ), el tiempo preferido de corte oscilaría entre los 70 y 95 años. En cambio, para las especies con densidad media de  $0,6 \text{ g/m}^3$ , este período aumenta a 78–105 años. Finalmente, en aquellas especies con alta densidad leñosa los períodos son más largos con edades superiores a los 80–110 años.

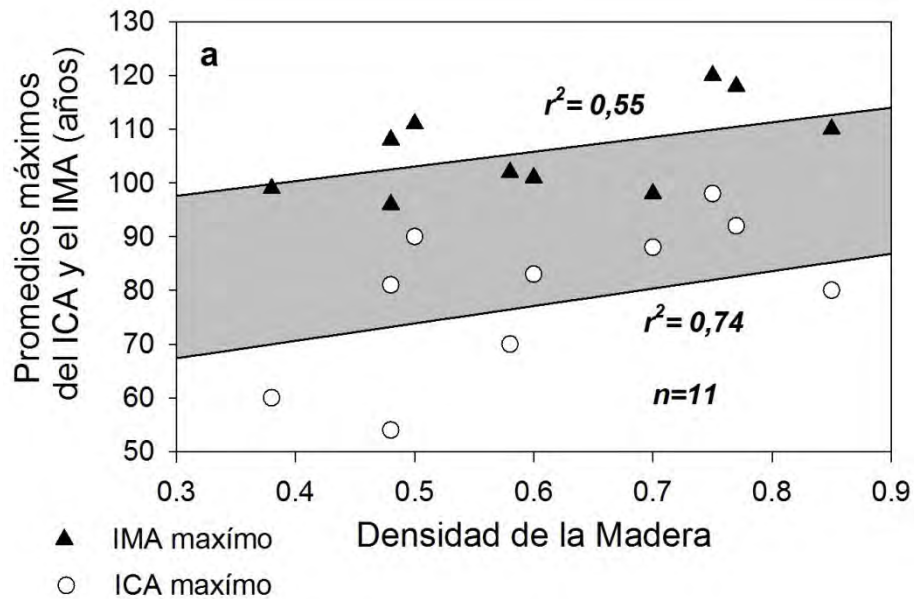


Figura 5.25. Estimación de los diámetros óptimos de corte a partir de las relaciones entre los valores del  $ICABA_{m\acute{a}x}$  (▲) y el  $IMABA_{m\acute{a}x}$  con la densidad de la madera en  $\text{g/cm}^3$ . El área en color gris representa los valores estimados para que una especie con una determinada densidad de madera alcance los diámetros óptimos de corte.

#### 4. Discusión y conclusiones

El análisis de los anillos de crecimiento ha demostrado ser una importante herramienta para conocer el patrón de crecimiento diamétrico de los árboles en función de su edad. A su vez, este análisis también permitió evaluar la variación en los incrementos diamétricos entre especies diferentes creciendo en un mismo sitio o para una misma especie en diferentes sitios de muestreo. En este capítulo se observa que, en general, las especies tienen mayor velocidad de crecimiento en individuos jóvenes, sin embargo en algunas especies los ritmos de crecimiento son más altos en diámetros intermedios. En *A. cearensis*, *C. chodatiana* y *F. boliviana*, el mayor incremento ocurre en estados diamétricos intermedios. Por ejemplo, en *F. boliviana* los crecimientos son mayores en las clases diamétricas comprendidas entre los 40 y 70 cm (Fig. 5.6a). Conocer los tamaños diamétricos donde los árboles registran los mayores incrementos puede ser de gran utilidad en la planificación de métodos silvícolas que tengan en cuenta el potencial productivo de cada especie.

La estimación del incremento diamétrico por clase de edad permitió establecer con exactitud el tiempo necesario que requiere una especie para pasar de una clase diamétrica a la inmediata superior. La mayoría de las especies requieren entre 7 y 20 años para incrementar su diámetro en 5 cm. Solo en *F. boliviana* y *C. ianeirensis* se requieren tiempos menores (entre 3 a 10 años) para avanzar 5 cm entre clases diamétricas. Asimismo, se observaron diferencias notables en el crecimiento de una misma especie en sitios diferentes. Así, *C. microchaete* requiere menor tiempo para crecer entre clases diamétricas en los sitios del distrito biogeográfico de Guarayos que en los sitios Chiquitanos (Tabla 5.3, 5.5).

En este capítulo se ha evaluado el método GOL o de Aprovechamiento Basado en el Crecimiento propuesto por Schöngart (2008), quien lo empleó para estimar los ciclos de corte en 12 especies de la Várzea de la Amazonía Central, Brasil. En la Tabla 5.6 se listan los ciclos de corta para las especies estudiadas en base a los criterios propuestos por GOL. Asumiendo incrementos diamétricos de 10 cm entre dos cosechas, los tiempos asociados a los ciclos de corte oscilan entre 8 y 29 años para *F. boliviana* y *Z. tuberculosa*, respectivamente (Tabla 5.6). Sin embargo, si aplicamos los supuestos que rigen en la actualidad por la Ley Forestal, los ciclos de corta propuestos de 20 años estarían asociados a incrementos diamétricos entre 2 cosechas de 20 cm (basado en el supuesto de incrementos para el bosque Chiquitano de 1

cm/año de acuerdo a la Ley Forestal 1700). Bajo estas consideraciones, o sea de incrementos de 20 cm de diámetro entre dos turnos de corte sucesivos, tendríamos que duplicar el tiempo propuesto por el método GOL. En otras palabras, los ciclos de corta para incrementos diamétricos de 20 cm empleando GOL oscilarían entre 16 y 58 años. Con excepción de *F. boliviana*, con crecimientos cercanos a 1 cm/año, vemos que los ciclos de corte propuesto por la Ley Forestal son en todos los casos menores, en algunos casos muchos menores, que los resultantes de aplicar un Aprovechamiento Orientado en el Crecimiento (GOL).

Tabla 5.6. Estimación de los diámetros óptimos de corte en cm y las edades correspondientes en años (entre paréntesis), basados en la máxima producción en área basal corriente y media ( $ICABA_{máx.e}$   $IMABA_{máx.}$ ). También se presentan los turnos biológicos de corte (TBC) en años. Además se listan los ciclos de corte basados en  $ICABA_{máx.e}$   $IMABA_{máx.}$  el promedio de ambos, obtenidos mediante la metodología GOL (Schöngart 2008).

Especies en estudio	Diámetro óptimo de corte cm (años)			Ciclos de corte (años)		
	$ICABA_{máx.}$	$IMABA_{máx.}$	TBC	$ICABA_{máx.}$	$IMABA_{máx.}$	Prom.
<i>Amburana cearensis</i>	55 (95)	67 (122)	122	17,27	18,20	17,73
<i>Anadenanthera colubrina</i>	34 (62)	47 (108)	105	18,23	22,97	20,30
<i>Cariniana ianeirensis</i>	50 (82)	70 (109)	105	16,4	15,57	15,98
<i>Cedrela fissilis</i>	40 (63)	52(102)	105	15,75	19,61	17,68
<i>Copaifera chodatiana</i>	30 (85)	37 (103)	>110	28,33	27,83	28,08
<i>Ficus boliviana</i>	72 (55)	103 (95)	85	7,63	9,22	8,42
<i>Hymenaea courbaril</i>	72 (93)	103 (120)	>130	12,91	11,65	12,28
<i>Machaerium scleroxylon</i>	36 (100)	-	>120	27,77	-	27,77
<i>Platimiscium ulei</i>	40 (90)	44 (100)	>110	22,50	22,72	22,61
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	29 (80)	37 (110)	102	27,58	29,72	28,65

Algo similar es observado para *C. microchaete*, en los 6 sitios de muestreo. Los ciclos de corta o el período necesarios para incrementar en 10 cm de diámetro obtenidos aplicando la metodología GOL (Schöngart 2008) varían entre 14 y 27 años (Tabla 5.7). Estos turnos se duplican para incrementos de 20 cm o más entre cortes sucesivos como establece la Ley Forestal. O sea que la aplicación del método GOL estaría arrojando para *C. microchaete* turnos de corte que oscilarían entre 28 y 54 años para sitios en los distritos de Guarayos y



Chiquitanos, respectivamente. Nuevamente, vemos que para incrementos similares, los tiempos resultantes del método GOL son siempre mayores a los establecidos por la Ley Forestal 1700.

Los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos que sostienen que los actuales ciclos de corte en bosques disetáneos tropicales deberían ser de 4 a 5 veces mayores que los actualmente propuestos por Ley (20–25 años). Según estos estudios, los ciclos de corte de tiempos cortos no garantizan la producción sostenible de madera y mucho menos la recuperación del bosque (Brienen 2005, Dauber *et al.* 2005).

Tabla 5.7. Estimación de los diámetros óptimos de corte en cm y las edades correspondientes en años (entre paréntesis) para *Centropium microchaete*, basados en la máxima producción en área basal corriente y media ( $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$ ). Además, se listan los ciclos de corte basados en  $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$  y el promedio de ambos, obtenidos mediante la metodología GOL (Schongart, 2008).

Sitios de estudio	Diámetro óptimo de corte cm (años)			Ciclos de corte (años)		
	$ICABA_{máx.}$	$IMABA_{máx.}$	TBC	$ICABA_{máx.}$	$IMABA_{máx.}$	Prom.
Concepción (Inpa)	37 (95)	46 (134)	145	25,67	29,13	27,40
Santa Anita	33 (76)	43 (117)	115	22,12	27,20	24,66
Zapocó	33 (90)	40 (110)	>110	27,27	27,50	27,38
Santa Mónica	47(81)	61(116)	118	17,23	19,01	18,12
Makanaté	32 (38)	50 (80)	70	11,87	16,00	13,93
Guarayos–LC.	32 (44)	50 (70)	68	13,75	14,00	13,85

La propuesta GOL permite hacer una mejor evaluación de los DMC en vigencia y comprender precisamente los rangos diamétrico que deberían ser propuestos en los planes de manejo forestal como diámetros óptimos de corte (DOC). Para la mayoría de las especies, es aceptable biológicamente que los diámetros óptimos de corte estén propuestos en el momento que estos alcanzan los mejores ritmos de crecimiento ( $ICABA_{máx.}$  e  $IMABA_{máx.}$ ). Un uso combinado de  $ICABA$  e  $IMABA$  pareciera ser un buen indicador para establecer la edad en el cual los árboles alcanzan las tasas máximas de producción leñosa y que no serían muy diferentes de los propuestos por métodos tradicionales de TBC desarrollados en el capítulo anterior (Mutarelli 1964, Assmann 1970). De emplearse estos tiempos en los planes de manejo forestal como

turnos de rotación, las especies forestales de la provincia del Cerrado Boliviano, estarían siendo aprovechadas cuando estas alcanzan su máxima producción. Por otro lado, si se considera el tiempo necesario para alcanzar los TBC como lo observado en las Tablas 5.5 y 5.6, el manejo de los bosques estaría cumplido su objetivo, de ser aprovechado óptimamente. A largo plazo, tiempos largos como los períodos necesarios para alcanzar los TBC, garantizan la recuperación en cierto porcentaje la estructura original de un bosque (Fredericksen & Peralta 2001, Brien 2005, Brien & Zuidema 2005, Dauber *et al.* 2005).

Otra propuesta interesante de los estudios de Schöngart (2007, 2008) es establecer relaciones entre los DOC y la densidad de la madera. Las especies de más lento crecimiento son aquellas que tienen maderas de mayor densidad. En las especies de baja densidad del distrito biogeográfico Chiquitano como *A. cearensis* y *C. fissilis*, los DOC ocurren a edades entre 60 y 65 años aproximadamente (Fig. 5.24a). Por el contrario, las especies con densidades más altas requieren edades entre 81 a 130 años para alcanzar los DOC. En especies del distrito biogeográfico de Guarayos no observamos una estrecha relación entre la densidad de madera y la velocidad del crecimiento. Sin embargo esto refleja la baja dispersión en la densidad de las maderas muestreadas, lo que impide hacer una comparación válida entre especies de alta y baja densidad. Sin embargo notamos que *F. boliviana*, con madera de muy baja densidad, alcanza los DOC en 40 años, mientras que las otras especies necesitan entre 80–85 años para lograr los DOC (Fig. 5.24b, 5.25b). A pesar de la escasa variabilidad en densidades, los valores de nuestro estudio son similares a los reportados por Schöngart (2008) para algunas especies del Várzea con baja densidad ( $0,4\text{g/cm}^3$ ), donde se requiere entre 40 y 80 años para lograr los DOC. Por el contrario, este autor observó que las especies con alta densidad ( $0,8\text{g/cm}^3$ ) requieren entre 100 y 150 años de edad para alcanzar los DOC. Esta propuesta de emplear la densidad de la madera para estimar los Diámetros Óptimos de Corte (DOC) podría ser exitosamente empleada en especies que presentan dificultades para fechado preciso de su edad, o en las que no es posible determinar bandas de crecimiento.

## 5. Referencias

- ASSMANN, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press. Oxford: 506.
- BOJANIC, H. A. J. 2001. Balance is beautiful: Assessing sustainable forest management in the rainforests of the Bolivian Amazon. PROMAB Scientific series 4. Utrecht, PROMAB.
- BOLFOR II. 2008. Informe final. Proyecto BOLFOR II, Santa Cruz, Bolivia: 179.

- BOLFOR II. 2009. Docier Forestal. Proyecto BOLFOR II, Santa Cruz, Bolivia: 286.
- BRIENEN, R. J. W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. PROMAB Scientific Series 10: PROMAB-Riberalta, Bolivia.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1-12.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006a. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Ecology* 94: 481-493.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2006b. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226: 256-267.
- CFV. 2010. Manejo Forestal Sostenible. Una oportunidad para consolidar Tierras Comunitarias de Origen en Bolivia. Consejo Boliviano para la Certificación Forestal Voluntaria (CFV). Landivar S.R.L. Santa Cruz, Bolivia.
- DAUBER, E., T. S. FREDERICKSEN, and M. PEÑA. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294-304.
- DEZZEO, N., M. WORBES, I. ISHII, and R. HERRERA. 2003. Annual tree rings revealed by radiocarbon dating in seasonally flooded forest of the Mapipe River, a tributary of the lower Orinoco River, Venezuela. *Plant Ecology* 168: 165-175.
- DÜNISCH, O., V. R. MONTAÑA, and J. BAUCH. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees-Structure and Function* 17: 244-250.
- FREDERICKSEN, T., and R. PERALTA. 2001. Opciones silviculturales para el manejo forestal en Bolivia. *En: Mostacedo, B., Fredericksen, T. (Eds.): Regeneración y Silvicultura de Bosques Tropicales Santa Cruz, Bolivia: 157-171.*
- GENTRY, A. H. 1988. Tree species richness in Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95: 156-159.
- HARRIAGUE, F. 2008. Guía para aplicar productos profilácticos en trozas y en madera recién aserrada. BOLFOR II/ CADEFOR Santa Cruz, Bolivia: 18.
- KANT, S. 2004. Economics of sustainable forest management. *Forest Policy and Economics* 6: 197-203.
- LIEBERMAN, M., and D. LIEBERMAN. 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. *Ecology* 66: 632-635.
- LÓPEZ, L., and R. VILLALBA. 2010. Climate Influences on the Radial Growth of *Centrolobium microchaete*, a Valuable Timber Species from the Tropical Dry Forests in Bolivia. *Biotropica* 43: 41-49.
- MDSMA. 1997a. Normas técnicas para la elaboración de instrumentos de manejo forestal (inventarios, planes de manejo, planes operativos, mapas) en propiedades privadas o concesiones con superficies iguales o menores a 200 hectáreas en zonas tropicales y subtropicales. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente: Resolución ministerial N° 132/197. La Paz, Bolivia.
- MDSMA. 1997b. Normas técnicas para la elaboración de instrumentos de manejo forestal (inventarios, planes de manejo, planes operativos, mapas) en propiedades privadas o concesiones con superficies iguales o menores a 200 hectáreas en zonas tropicales y subtropicales. Resolución ministerial N° 132/97. La Paz.
- MDSMA. 1997c. Normas técnicas para la elaboración de instrumentos de manejo forestal comercial (inventarios, planes de manejo, planes operativos, mapas) en Tierras Comunitarias de Origen, TCO. Resolución ministerial N° 136/97. La Paz.
- MDSMA. 1997d. Nueva Ley Forestal. Ley N° 1700 del 12 de julio de 1996. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente: La Paz, 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. La Paz.
- MONTECINOS, J. A., G. CERROGRANDE, and J. E. PONCE. 2008. Propiedades físico-mecánicas de la madera de las especies forestales Sirari (*Copaifera chodatiana*) y Tarara colorada (*Platymiscium ulei*). Documento Científico 1-2008. Proyecto de Manejo de Bosques en Bolivia (FOMABO), Programa de Investigaciones Forestales (PROINFOR). Santa Cruz, Bolivia.
- MUTARELLI, E. 1964. La ordenación de los bosques. Su aplicación en la Argentina. *Revista Forestal Argentina*. VIII (1): 15-21.
- NEBEL, G. 2001. *Minquartia guianensis* Aubl.: use, ecology and management in forestry and agroforestry. *Forest Ecology and Management* 150: 115-124.

- NEPSTAD, D. C. 2007. Los círculos viciosos de la Amazonía. Sequía y fuego en el invernadero. Puntos ecológicos y climáticos críticos del bosque húmedo tropical más grande del mundo y medidas prácticas de prevención. WWF, Internacional, Gland/Suiza: 22.
- PEÑA-CLAROS, M., T. S. FREDERICKSEN, A. ALARCON, G. M. BLATE, U. CHOQUE, C. LEANO, J. C. LICONA, B. MOSTACEDO, W. PARIONA, Z. VILLEGAS, and F. E. PUTZ. 2008. Beyond reduced-impact logging: silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. *Forest Ecology and Management* 256(7): 1458-1467.
- SCHÖNGART, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* 256: 46-58.
- SCHÖNGART, J. 2003. Dendrochronologische Untersuchungen in Überschwemmungswäldern der várzea Zentralamazoniens. Tesis de doctorado, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Universität Göttingen, Göttingen: 223.
- SCHÖNGART, J., F. WITTMANN, M. WORBES, M. PIEDADE, H. KRAMBECK, and W. JUNK. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* 64: 657-664.
- SMARTWOOD. 2004. Resumen Público de Certificación de INPA Parket LTDA. (Propiedad Amazonia, Santa Rosita y San Alejandro). New York: New York.
- VAN RHEENEN, H. 2005. The role of seed trees and seedling regeneration for species maintenance in logged-over forests -a study in the Bolivian Amazon rainforest. PROMAB scientific series 9. Utrecht University: 142.
- VILLEGAS, Z., M. PEÑA-CLAROS, B. MOSTACEDO, A. ALARCÓN, J. C. LICONA, C. LEAÑO, W. PARIONA, and U. CHOQUE. 2009. Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 258: 971-977.
- VISCARRA, S. 1998. Guía para el Secado de la Madera en Hornos (BOLFOR) Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. Documento Técnico 69/1998, Santa Cruz, Bolivia.
- WORBES, M., R. STASCHEL, A. ROLOFF, and W. J. JUNK. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 173: 105-123.

## CAPÍTULO VI

---

### ESTUDIOS DENDROCRONOLÓGICOS CON ESPECIES FORESTALES DEL CERRADO BOLIVIANO



#### Tabla de contenido

---

1. Introducción .....	214
2. Materiales y métodos .....	216
2.1. Área de estudio .....	216
2.2. Descripción y distribución de la especie .....	218
2.3. Colección de muestras .....	220
2.4. Desarrollo de las cronologías .....	221
2.5. Relación clima–crecimiento.....	223
3. Resultados .....	226
3.1. Cronologías de ancho de anillos .....	226
3.2. Relación clima–crecimiento.....	231
3.2.1. Concepción.....	231
3.2.2. Santa Anita .....	233
3.2.3. Zapocó.....	235
3.2.4. Santa Mónica .....	237
3.2.5. Makanaté .....	238
3.2.6. Guarayos–La Chonta (LC).....	240
4. Discusión y conclusiones .....	242
5. Referencias .....	249

## Resumen

En este capítulo se presenta el desarrollo de cronologías a partir del ancho de los anillos de *Centrolobium microchaete* para las seis localidades de estudio de esta especie. Se establecen las relaciones entre estas cronologías y las variables climáticas (temperatura y precipitación) medidas en las estaciones meteorológicas más representativas y cercanas a los sitios de estudio. Si bien no existe un patrón general de crecimiento aplicable a todas las localidades, se observó que en general, el crecimiento de *C. microchaete* es favorecido por abundantes precipitaciones durante el periodo primavera-verano. Por el contrario, las temperaturas altas por encima de su valor medio durante el mismo periodo del año limitan el crecimiento, a través del efecto indirecto de aumentar la evapotranspiración y reducir el agua disponible para el crecimiento. Si bien las cronologías solo cubren los últimos 180 años, la incorporación de ejemplares más longevos permitirá extender estos registros en el tiempo. En las 6 cronologías desarrolladas se observó una clara dependencia climática del crecimiento de los árboles surgiendo que el Cambio Climático podrían influir los patrones de crecimiento de esta especie en el siglo 21.

### 1. Introducción

En regiones templadas y frías de América del Sur, los anillos de crecimiento han sido exitosamente empleados para reconstruir las variaciones temporales y espaciales de la temperatura, la precipitación y los caudales de los ríos durante las últimas centurias e inclusive algunos milenios (Lara & Villalba 1993, Villalba *et al.* 1998, Lara *et al.* 2008, Boninsegna *et al.* 2009). Sin embargo, y a pesar del creciente interés en aplicar métodos dendrocronológicos en ambientes tropicales y subtropicales, el empleo de los anillos de árboles en el Neotrópico se ha visto limitado por diversos factores. La escasez de especies con anillos anatómicamente distinguibles (Eckstein *et al.* 1981), la existencia de árboles poco longevos (Worbes & Junk 1999) y la alta tasa de descomposición de la madera muerta (Bultman & South Well 1976), son los principales factores que han dificultado el avance de los estudios dendrocronológicos en las regiones tropicales.

La formación de anillos anuales de crecimiento en el leño de las especies arbóreas resulta de la periodicidad en el tipo (vasos, parénquima, fibras, fibrotraqueidas) y forma (tamaño del lumen, engrosamiento de la pared celular) de los elementos leñosos formados por el cambium (Carlquist 1988). La presencia de anillos de crecimiento demarcados es una característica bien

definida en el leño de la mayoría de las especies arbóreas y arbustivas que crecen en las regiones templadas y frías. En estas regiones, la actividad cambial está generalmente regulada por el fotoperíodo (horas de luz) y la temperatura. A medida que nos acercamos geográficamente al trópico, la estacionalidad en la temperatura es menos marcada o prácticamente inexistente. Esta falta de estacionalidad térmica bien definida pareciera ser el principal causante de la ausencia de anillos anuales en los árboles tropicales. Temperaturas relativamente similares en verano e invierno determinan un crecimiento leñoso bastante uniforme durante todo el año sin un período de dormancia bien definido. Sin embargo, estudios dendrocronológicos en especies tropicales y subtropicales han demostrado la presencia de anillos bien definidos que han permitido determinar la edad de los individuos de algunas especies y las respuestas del crecimiento leñoso a los cambios estacionales de la precipitación (Villalba *et al.* 1987, Villalba *et al.* 1992, Worbes & Junk 1999, Dünisch *et al.* 2003). Por ejemplo, en las Yungas del Noroeste Argentino, que representan una continuación de formaciones boscosas similares al sur de Bolivia, numerosas cronologías han sido desarrolladas a partir del nogal criollo (*Juglans australis*) y el cedro rosado (*Cedrela lilloi*; Villalba *et al.* 1987, 1992). Estas cronologías han sido empleadas para reconstruir en forma detallada las variaciones de la temperatura y la precipitación en el Noroeste Argentino durante los últimos 200–300 años (Villalba *et al.* 1992, Worbes 1992, Villalba *et al.* 1998).

En la región Amazónica de Bolivia, los anillos de crecimiento de *Amburana cearensis*, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga catenaeformis* y *Peltogine heterophylla* han sido recientemente empleados para proveer información sobre la velocidad de crecimiento de estas especies tropicales (Brienen 2005). A partir de las mediciones de los anillos de crecimiento se desarrollaron cronologías preliminares y las variaciones en el crecimiento fueron comparadas con las variaciones en el clima regional. Las fluctuaciones interanuales en la precipitación parecieran estar fuertemente correlacionada con el crecimiento de la mayoría de las especies estudiadas por Brienen (2005). Las edades máximas reportadas para estas especies oscila entre 123 años para *Cedrelinga catenaeformis* y 308 años para *Cedrela odorata* (Brienen 2005).

En el área del Cerrado Boliviano, los primeros estudios dendrocronológicos se han realizado en la provincia de Guarayos, Departamento de Santa Cruz (López 2003). En esta región se observó que la mayoría de las especies estudiadas presentan bandas de crecimiento anuales,

delimitadas por bandas de tejido parenquimático terminal. Sin embargo, en muchas especies el fechado es dificultoso por la presencia de lentes y falsos anillos.

En el presente capítulo, y tomando como base los resultados conjuntos de los análisis xilológicos (capítulo II) y de crecimiento radial (capítulo III), se presentan las primeras seis cronologías para el Cerrado Boliviano desarrolladas a partir de *Centrolobium microchaete*, una de las especies de mayor valor forestal que crece en esta provincia biogeográfica (Navarro & Maldonado 2004). Esta es la especie, de todas las analizadas, que presenta las mejores características para estudios dendrocronológicos. En base a los estadísticos usados tradicionalmente en dendrocronología, estableceremos en forma comparativa la calidad de las cronologías en el contexto de los registros de anillos de árboles para América del Sur. Por último, las cronologías de *Centrolobium microchaete* serán comparadas con los registros instrumentales de temperatura y precipitación de la región para determinar las variables climáticas que han influido en el crecimiento de esta especie tropical durante los últimos 50–70 años.

## **2. Materiales y métodos**

Para lograr los objetivos propuestos en este capítulo, se aplicaron los métodos de muestreo y de análisis dendrocronológicos descritos detalladamente en los Capítulos II y III de la presente tesis doctoral. Aquí se incluye solamente información adicional relevante y se resume brevemente algunos procedimientos descritos anteriormente para facilitar la comprensión del estudio realizado.

### **2.1. Área de estudio**

Las características de la vegetación correspondiente a los dos distritos biogeográficos donde se realizaron los muestreos se encuentran descritas en el Capítulo I. En la Figura 6.1, se presentan las variaciones climáticas tanto para la precipitación como la temperatura de la estación meteorológica de Concepción que cuenta con registros continuos para los últimos 67 años (1943–2010). Estas series están ubicadas estratégicamente en el área de estudio y



constituyen los registros meteorológicos más largos a nivel regional. El período seco más marcado del registro ocurrió durante la década de 1960–comienzos de 1970.

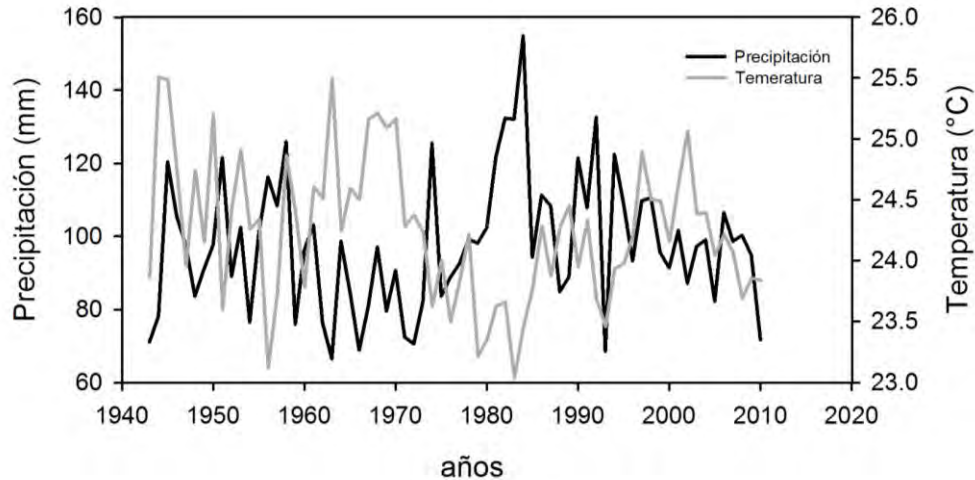


Figura 6.1. Variaciones de la precipitación y la temperatura en la localidad de Concepción, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Los datos instrumentales fueron provistos por SENAMHI–Bolivia.

Este periodo fue, a su vez, el más cálido del registro, una clara indicación de las interrelaciones entre temperatura en la región de estudio. Por el contrario, los años mas húmedos del registro ocurrieron durante la primera mitad de la década de 1980, coincidente con los años más fríos de los últimos 67 años.

En la Tabla 6.1 se presenta el número de árboles de *Centrolobium microchaete* colectados por sitio y los rangos diamétricos (DAP) de los individuos muestreados.

Tabla 6.1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo, número de árboles muestreados, diámetros medios y sus rangos respectivos.

Sitio	Latitud S	Longitud O	Altura (m.s.n.m)	No. de árboles muestreados	Diámetro medio	Rango DAP
Concepción	16° 22'	61° 55'	244	35	58,0	41–90
Santa Anita	16° 32'	61° 55'	423	31	47,3	41–70
Zapocó	16° 27'	61° 44'	464	23	42,1	35–55
Santa Mónica	15° 58'	62° 22'	420	50	48,7	43–60
Makanaté	15° 29'	62° 17'	246	26	52,0	44–65
Guarayos–LC	15° 38'	62° 46'	250	24	49,1	28–82

## 2.2. Descripción y distribución de la especie

El género *Centrolobium* (familia Fabaceae) es típicamente neotropical con aproximadamente seis especies distribuidas desde Panamá hasta el sur de Bolivia específicamente en la región Chiquitana (Killeen *et al.* 1993). Sus especies son características de bosques sub-húmedos a secos, semidecíduos a deciduos ubicados en las regiones marginales del Escudo Precámbrico Brasileño. *Centrolobium microchaete*, localmente conocido como “tarara”, “tarara amarilla” o “madera canaria”, es un árbol que alcanza entre 18 y 30 m de altura y hasta 70 cm de diámetro (Killeen *et al.* 1993).

En Bolivia, esta especie es abundante en las regiones centro, este y norte del departamento de Santa Cruz (Chichignoud 1990) donde crece entre los 240 y 500 m de altura (Tabla 6.1). Esta especie es semidecídua, no tolerante a la sombra y se regenera mayormente a través de rebrotes. Según, Justiniano y Fredericksen (1998), afirman que *Centrolobium microchaete* es propia de bosques subhúmedos, semidecíduos y semi-siempreverdes de las regiones marginales del Precámbrico. Aunque la delimitación de su distribución en países vecinos todavía es confusa (Killeen *et al.* 1993, Justiniano & Fredericksen 1998). Los árboles de esta especie tienen generalmente el fuste recto y cilíndrico. Posee una corteza externa ligeramente fisurada o agrietada, con las fisuras longitudinales muchas veces formando pequeñas placas más o menos cuadriláteras, de color gris claro tornándose oscuro a medida que el árbol crece y alcanza mayores edades (Justiniano & Fredericksen 1998).

Las hojas son compuestas, dispuestas en espiral, imparipinadas de 13 a 19 folíolos de aproximadamente 8 cm de largo, opuestos a sub-opuestos, enteros y elípticos, pinatinervados. Las flores son pequeñas de color amarillo, dispuestas en panículas terminales grandes y florece entre marzo y abril. Fructifica en julio y septiembre. El fruto es una sámara grande, indehiscente, con una larga ala distal, generalmente con 1–2 semillas. La cámara de la semilla está provista de numerosas espinas aciculares (Killeen *et al.* 1993, Justiniano & Fredericksen 1998, Jardim *et al.* 2003, Mostacedo *et al.* 2003).

La madera tiene una densidad básica de  $0,58 \text{ g/cm}^3$ , según la base de datos sobre maderas tropicales del Centro Amazónico de Desarrollo Forestal (CADEFOR). Esta especie está considerada de dureza media, lo que permite realizar trabajos con facilidad en la construcción de muebles, pisos, como también en la elaboración de objetos artesanales y utensilios caseros.

Otros usos de su madera incluyen la elaboración de laminados de revestimientos y construcción en general (Justiniano & Fredericksen 1998).

La madera de *C. microchaete* presenta una albura de color blanco–amarillento y un duramen amarillo, en algunos casos anaranjado, con franjas finas rojas, moradas o negras. En ambas combinaciones particularmente en rodajas recién cortadas la presencia de sabia rojiza es muy contrastante en la zona cambial (Fig. 6.2).



Figura. 6.2. Sección transversal del fuste de *Centrolobium microchaete* recientemente cortado mostrando la presencia de bandas de crecimiento distinguibles a simple vista. El floema activo es de color rojo oscuro, la albura de color blanco–rosáceo y el duramen amarillo a marrón claro con finas bandas de color rojo, violeta o café oscuro.

Los anillos de crecimiento están definidos por la presencia de vasos con lúmenes más grande al comienzo del ciclo de crecimiento (porosidad circular a semi–circular), un mayor porcentaje de fibras en el leño tardío y una banda muy delgada, pero continua, de tejido parenquimático marginal (Fig. 6.3). Los vasos son medianos a grandes, solitarios y múltiples

radiales, rodeados por parénquima axial. Radios leñosos medianos, numerosos y bien marcados (López & Villalba 2010).

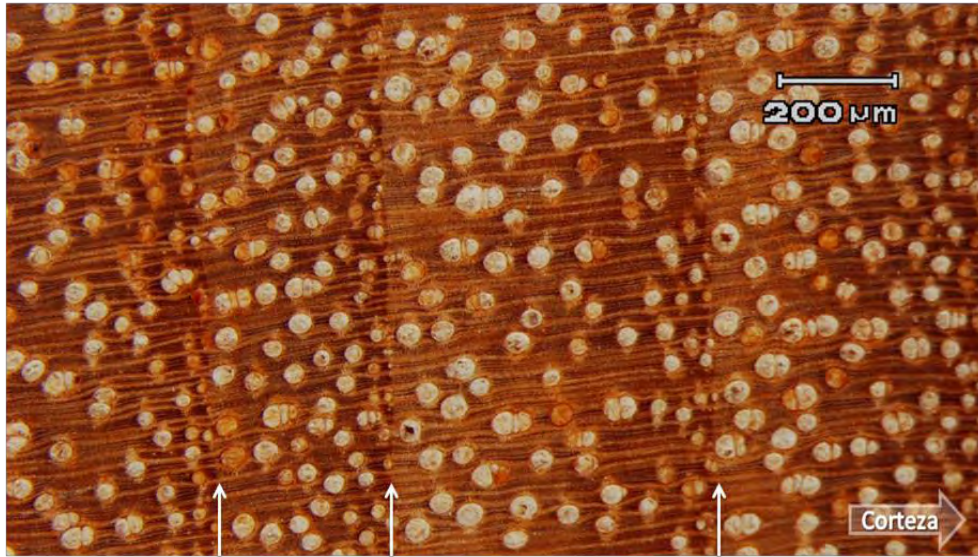


Figura 6.3. Sección transversal del leño de *Centrolobium microchaete* mostrando el arreglo anatómico de los elementos leñosos que determinan los límites entre los anillos de crecimiento (flechas verticales).

### 2.3. Colección de muestras

Estudios preliminares indican que es muy difícil obtener muestras para el análisis de los anillos de crecimiento en las regiones tropicales secas o semi-secas de Bolivia empleando métodos dendrocronológicos tradicionales (López 2003). Dada la dureza que caracteriza a la mayoría de las maderas de estas regiones no pueden emplearse en la toma rutinaria de las muestras los barrenos de incremento tradicionales. Estos han sido diseñados para maderas de coníferas de baja densidad. Asimismo, la mayor dificultad para definir con precisión los límites de los anillos de crecimiento en estas especies, sugiere que es más ventajoso trabajar con secciones transversales del fuste de los árboles, en lugar de muestras de solo 5 mm de espesor como las que resultan de los barrenos de incrementos. Las secciones transversales permiten tener una mejor visión del plan leñoso en su conjunto y por ende, aumentar la precisión en la determinación y medición del espesor de los anillos de crecimiento. Por estas razones, los muestreos dendrocronológicos fueron realizados en aéreas de aprovechamiento forestal. Con excepción de Makanaté y Guarayos–La Chonta (LC), los muestreos se realizaron

en parcelas de 25 hectáreas de bosque bajo aprovechamiento forestal. En Makanaté, el muestreo se realizó en un sitio de acopio de trozas, provenientes de árboles cortados dos años antes del momento del muestreo. En Guarayos–LC, la mayoría de las muestras fueron tomadas de árboles en pie, mediante secciones parciales de cuñas transversales.

En los sitios restantes, una vez realizadas las mediciones dasométricas de los árboles seleccionados, los mismos fueron cortados por las empresas forestales encargadas del aprovechamiento. Antes de retirar el tronco del lugar, se nos permitió tomar una sección transversal de la base del fuste recientemente abatido. En general se trató de individuos con buenas características morfológicas externas que superaban los diámetros mínimos de corte (>40 cm) establecidos por la Ley Forestal Boliviana. Se colectaron secciones transversales provenientes de individuos de *Centrolobium microchaete* para las seis localidades, el número y sus rangos diamétricos se presentan en la Tabla 5.1.

#### 2.4. Desarrollo de las cronologías

Las secciones transversales fueron secadas a temperatura ambiente y posteriormente pulidas con lijas de granulometría decreciente (80 a 1200) hasta lograr una correcta visualización del arreglo anatómico que determina la delimitación de los anillos de crecimiento (Fig. 6.3). Las muestras fueron fechadas visualmente con ayuda de una lupa.

Basados en el patrón del ancho de los anillos de crecimiento se identificaron anillos “marcadores” caracterizados por ser relativamente delgados en relación a los anillos vecinos (Kaennel & Schweingruber 1995). Este patrón fue visualmente comparado entre las distintas muestras de cada uno de los sitios de colección. Una vez determinado la presencia de un patrón de ancho de anillos común entre radios de un mismo árbol y entre árboles de un mismo sitio, se procedió a medir el espesor de los anillos de crecimiento. Las mediciones se realizaron con un dendrómetro Velmex con una precisión de 0,01 mm conectado a un computador personal.

La calidad del fechado visual previamente realizado fue controlada usando el programa COFECHA (Holmes 1983). Este programa calcula índices de correlación entre las series individuales de anchos de anillos para identificar anillos ausentes o falsos. Posteriormente, las series de anchos de anillos correctamente fechadas fueron estandarizadas usando curvas

negativas exponenciales o líneas rectas de tendencia con ayuda del programa ARSTAN 4.0 (Cook & Holmes 1999). El objetivo de la estandarización es maximizar el porcentaje de varianza común entre las distintas series de ancho de anillo provenientes de un mismo sitio. El ajuste de las series de anchos de anillos a curvas exponenciales o líneas rectas tiene por objeto corregir las variaciones en el crecimiento de los árboles debidas a la edad biológica de los individuos. Los índices de crecimiento, que resultan de dividir el valor observado del ancho del anillo por el estimado por las curvas de ajuste, son calculados con el propósito de otorgarle a cada serie de ancho de anillo un mismo peso en el promedio final de las series que integran la cronología. Todas las series estandarizadas tienen un valor medio de uno y por lo tanto son comparables entre sí a pesar de provenir de árboles con distintas velocidades de crecimiento. Los índices de crecimiento fueron finalmente promediados para obtener una cronología por sitio de muestreo.

Con el objetivo de establecer la calidad de las cronologías desarrolladas se calcularon algunos estadísticos usados rutinariamente en dendrocronología. Para cada una de las cronologías se calculó la desviación estándar, la autocorrelación de primer orden y la sensibilidad media, siendo esta última una medida de la variabilidad interanual en las series de anchos de anillos relacionada con el grado de respuesta del árbol a las variaciones en el clima (Fritts 1976). Otros estadísticos usados en estudios dendrocronológicos incluyen el *R-bar* y el *EPS* (*Expressed Population Signal*). El *R-bar* es la media de los coeficientes de correlación que resultan de comparar todos los pares posibles de segmentos de un largo determinado entre todas las series estandarizadas que conforman la cronología (Briffa 1995). El *EPS*, es una medida de la proporción de la señal total existente en las series que integran la cronología desarrollada en relación a una cronología infinitamente replicada. Valores de *EPS* próximos o mayores a 0,85 en un punto dado de la cronología indican que el número de muestras que integra a la misma es adecuado y por lo tanto están captando un porcentaje adecuado de la señal teórica que resultaría de una replicación infinita de las muestras en la cronología. Valores menores de 0,85 estarían indicando que la replicación en ese sector de la cronología es baja y que debería aumentarse el número de muestras para fortalecer la señal común entre los árboles (Briffa 1995).

## 2.5. Relación clima–crecimiento

Con el objeto de determinar las variables climáticas relacionadas con el crecimiento de *Centrolobium microchaete*, las variaciones interanuales en el ancho de anillos de fueron comparadas con los registros instrumentales (temperatura y precipitación) de la región. Un método simple de comparación entre anillos de crecimiento y variaciones climáticas es el de la función de correlación ((Blasing *et al.* 1984). Este método consistió en correlacionar las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento de una cronología con las fluctuaciones climáticas interanuales tomadas mes por mes. La relación estadística entre el ancho de anillo y la variable climática es examinada sobre el período común entre la cronología y los datos instrumentales. Como el crecimiento en un año dado puede estar influenciando por las condiciones climáticas del año previo, el período de comparación analizado comprendió 29 meses, desde Enero de dos estaciones previas de crecimiento hasta Mayo del año en que se formaron los anillos.

En la región de estudio los datos meteorológicos son muy escasos por la falta de estaciones y poca extensión del registro instrumental. Solamente las estaciones meteorológicas de las ciudades de Santa Cruz de la Sierra, Concepción, San Javier y Ascensión de Guarayos, disponen de registros continuos de más de 30 años de extensión. Considerando que la estación meteorológica de Santa Cruz de la Sierra es la más distante a los sitios de muestro, y posiblemente con un régimen climático algo diferente, no fue considerada para la elaboración de series regionales de temperatura y precipitación. Para varias localidades obtuvimos registros meteorológicos provenientes de diferentes fuentes de información como el Ministerio del Agua, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Bolfor y otros) que diferían significativamente entre ellos.

Con el objetivo de incrementar la confiabilidad en los datos meteorológicos, las series mensuales de temperatura y precipitación de una misma estación, pero provenientes de diferentes fuentes, fueron comparadas entre sí. Aquellos valores que en alguna de las series diferían significativamente (más de 2 desviaciones estándares) de los reportados para el mismo mes por otras fuentes fueron eliminados. En aquellos casos en que solo contábamos con dos fuentes diferentes, los datos fueron promediados, a menos que uno de ellos difiriese por más de 2 (3) desviaciones estándar del valor medio mensual de la temperatura



(precipitación). En la Tabla 6.2, se dan a conocer las series meteorológicas empleadas, el período cubierto por cada una de ellas y el porcentaje de datos ausentes.

En base a las series homogeneizadas de temperatura y precipitación (aquellas donde fueron eliminados los valores anómalos), procedimos a elaborar series regionales de precipitación y temperatura para los dos distritos biogeográficos. Las series provenientes de las estaciones de Bolfor y SENAMHI Concepción fueron empleadas para confeccionar las series regionales del distrito Biogeográfico Chiquitano (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Datos meteorológicos en las proximidades de los sitios de muestreo. Fuentes: SENAMHI = Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, BOLFOR = Bolivia Forestal, y ORL = Oak Ridge Laboratory, USA.

Estación Meteorológica	Fuente	Lat. S	Long. W	Variable	Periodo	Porcentaje de datos ausentes
Concepción	Senamhi	16°15'	62°06'	temperatura	1965-2006	4 %
				precipitación	1965-2006	2 %
Concepción	Bolfor	16°07'	62° 02'	temperatura	1943-1992	1 %
				precipitación	1943-2005	1 %
Concepción	ORL	16°01'	62°01'	temperatura	1949-1989	15 %
				precipitación	1950-2004	10 %
San Javier	Senamhi	16° 20'	62° 28'	temperatura	1979-2006	5 %
				precipitación	1979-2006	0 %
San Javier	ORL	17°17'	62°32'	precipitación	1948-1986	0,5 %
Guarayos	ORL	15° 07'	63° 01'	precipitación	1946-1983	1 %
Guarayos	Bolfor	14°50'	62°32'	temperatura	1970-1992	5 %
				precipitación	1947-2005	2 %

A su vez, los datos meteorológicos de la estación de Ascensión de Guarayos proveniente SENAMHI, BOLFOR y ORL (Oak Ridge Laboratory), fueron usadas para elaborar las series regionales del distrito biogeográfico de Guarayos. Finalmente, los datos meteorológicas de San Javier correspondientes a las fuentes SENAMHI y ORL fueron empleadas para construir una tercera serie regional (Tabla 6.2). Esta serie estaría representando las condiciones climáticas reinantes en la transición entre la Provincia biogeográfica del Chaco y el distrito subandino de Santa Cruz.



Todas las series fueron normalizadas para el período común 1970–2006, y los desvíos normalizados empleados para confeccionar las series regionales. El hecho de emplear desvíos normalizados para obtener las series regional tiene la ventaja de que cada estación meteorológica tiene un peso similar en el promedio final resultante. Las series de desvíos regionales de precipitación y temperatura fueron comparados con las cronologías para determinar los parámetros climáticos que afectan el crecimiento de *C. microchaete* en las seis localidades estudiadas.

Los coeficientes de correlación entre los registros indican una fuerte covarianza temporal entre la temperatura y la precipitación en la región. Por ejemplo, el coeficiente de correlación entre la precipitación y la temperatura de Noviembre–Enero en Concepción es  $r = -0,57$  ( $n = 63$ ,  $p < 0,01$ ). Del mismo modo los registros, de temperatura y precipitación para la región de Guarayos durante Agosto–Enero son significativos con un valor de  $r = -0,49$  ( $n = 63$ ,  $p < 0,01$ ). Por su parte para San Javier, región intermedia entre la Chiquitana y Chaqueña, el coeficiente de correlación entre la temperatura y la precipitación de los meses de Agosto–Noviembre es también altamente significativo ( $r = -0,77$ ,  $n = 30$ ,  $p < 0,05$ ).

Finalmente se procedió a calcular Índices de Humedad para los distritos Biogeográficos de Concepción y Guarayos, los cuales resultan de la diferencia entre las desviaciones estándares de la precipitación y la temperatura regional normalizada durante la temporada más estrechamente relacionada con el crecimiento del árbol. Los períodos de baja precipitación (desvíos negativos de la precipitación) y las altas temperaturas (desvíos positivos de la temperatura) dan lugar a valores muy negativos del Índice de Humedad. El índice de humedad es un indicador del déficit hídrico regional y se calcula substrayendo los desvíos normalizados de la temperatura de los desvíos normalizados de la precipitación. Valores extremos negativos corresponden a grandes sequías.

$$IH = DNP_r - DNT_r$$

Donde, IH, es el índice de humedad;  $DNT_r$ , desvíos normalizados de la temperatura regional y  $DNP_r$ , desvíos normalizados de la precipitación regional.

### 3. Resultados

#### 3.1. Cronologías de ancho de anillos

Los resultados de este estudio indican que *C. microchaete* posee anillos de crecimiento de carácter anual, de acuerdo a lo observado en el Capítulo II.

Siguiendo un adecuado proceso de entrenamiento y familiarización con la estructura anatómica de esta especie, los anillos de crecimiento son relativamente fáciles de identificar en secciones transversales correctamente pulidas.

Tabla 6.3. Incrementos anuales en el crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* (tarara amarilla) en los Distritos Biogeográficos Chiquitos y Guarayos. Los valores de incrementos en el periodo total de comparación y los valores entre paréntesis corresponden al tiempo mínimo de comparación empleado para obtener los promedios.

<i>Centrolobium microchaete</i> Tarara amarilla		Incremento diamétrico anual en cm		Periodo de comparación y número de árboles		
Sitios de estudio	Distrito	Máx.	Prom.	Mín.	Años	N
Concepción	Chiquitano	0,56 (0,56)	<b>0,29</b> (0,37)	0,14 (0,25)	170 (98)	29
Santa Anita	Chiquitano	0,70 (0,70)	<b>0,35</b> (0,39)	0,07 (0,25)	127 (98)	31
Zapocó	Chiquitano	0,62 (0,62)	<b>0,33</b> (0,35)	0,18 (0,24)	126 (98)	23
Santa Mónica	Guarayos	0,74 (0,74)	<b>0,49</b> (0,55)	0,25 (0,36)	160 (98)	38
Makanaté	Guarayos	1,0	<b>0,55</b>	0,21	98 (98)	26
Guarayos–LC	Guarayos	0,79 (0,79)	<b>0,64</b> (0,64)	0,39 (0,39)	108 (98)	24

En la Tabla 6.3 se presentan los incrementos medios anuales de *C. microchaete* en cada una de las localidades de estudio. Del mismo modo, se indica el número de ejemplares incluidos para la construcción de las cronologías a partir del ancho de anillos de *C. microchaete* en las distintas localidades (Tabla 6.3).

Si bien la extensión de las cronologías de *C. microchaete* oscila entre 98 y 170 años para Makanaté y Concepción, respectivamente, el número de muestras en los sectores iniciales de las cronologías es bajo (Fig. 6.4), alcanzando más de 10 individuos a partir de los años 1884 en Concepción, 1900 en Santa Anita, 1913 en Zapocó, 1915 en Santa Mónica, 1928 en Makanaté y 1914 en Guarayos–La Chonta, respectivamente.

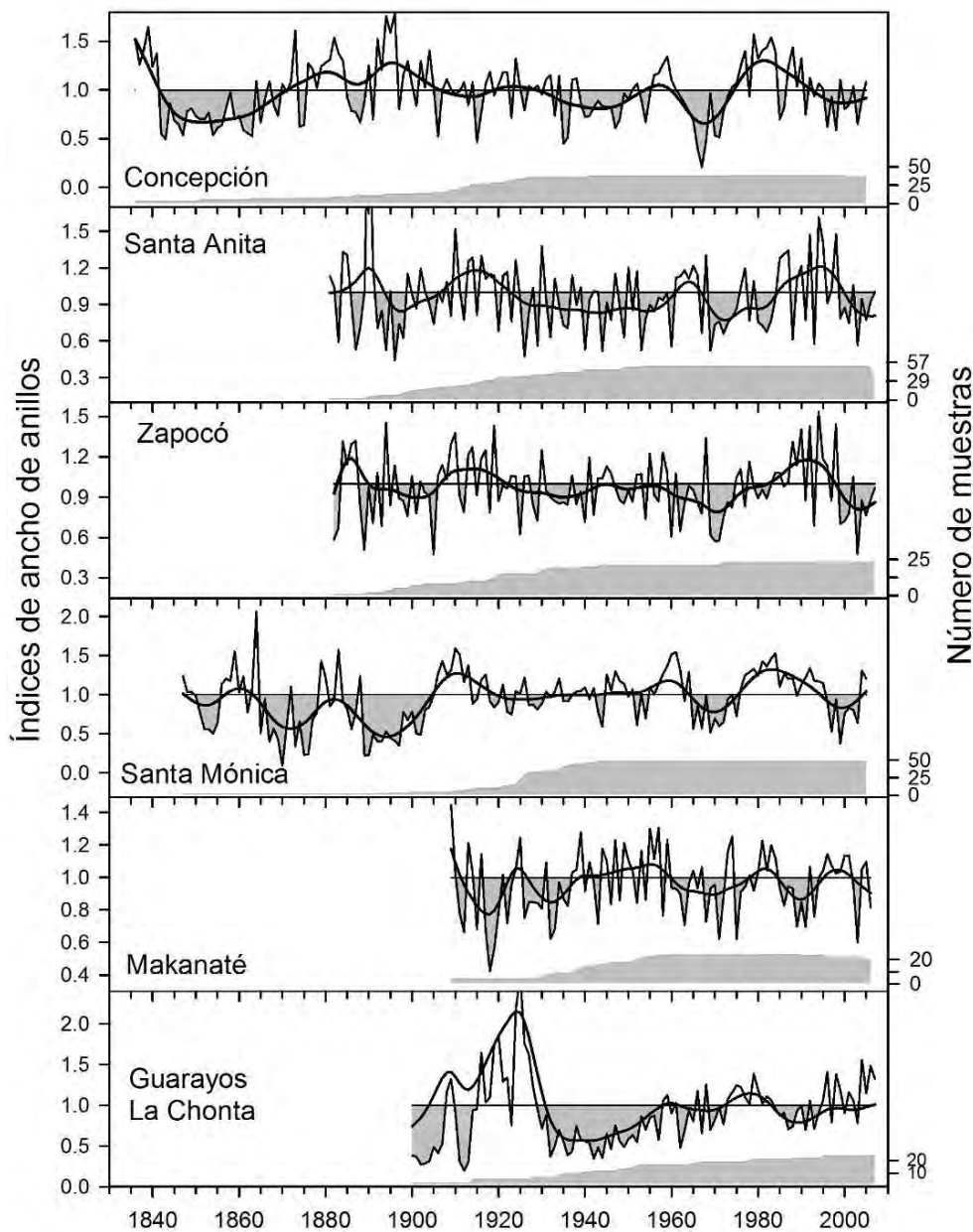


Figura. 6.4. Cronologías estándares de ancho de los anillos de crecimiento de *Centrolobium microchaete* para cada uno de los sitios de muestreo. Los índices de crecimiento muestran las variaciones interanuales en el ancho de los anillos. Para evaluar las variaciones a largo plazo, las cronologías también se muestran en forma suavizada empleando un spline cúbico diseñado para reducir el 50% de la varianza de una onda sinusoidal con una periodicidad de 20 años (Cook & Peters 1981). Las variaciones en el tamaño de la muestra (replicación) se muestran en la parte inferior de cada cronología.

Los estadísticos comúnmente empleados en dendrocronología para evaluar la calidad de las cronologías indican la existencia de una importante señal común en el crecimiento de los

árboles que las integran (Tabla 6.4). Los valores de  $R\text{-bar}$  en los seis sitios de muestreo están dentro de los rangos observados para otras cronologías en América del Sur (Boninsegna *et al.* 2009). Consistente con estos resultados, los valores de  $EPS$  en las cronologías desarrolladas, están por encima del umbral establecido de 0,85, indicando que ambos registros contienen una señal común importante (Tabla 6.4).

En la Figura 6.5 se presentan las variaciones temporales de los estadísticos  $R\text{-bar}$  y  $EPS$  agrupados por distrito biogeográfico. En general, los errores asociados a los valores de  $R\text{-bar}$  aumentan en los primeros años de las cronologías reflejando el bajo número de individuos incluidos en esa porción de las cronologías (Fig. 6.5).

Tabla 6.4. Número de individuos y radios por sitio, periodo cubierto y estadísticos más importantes de las cronologías desarrolladas para los 6 sitios de estudio. LC, La Chonta.

Sitio	No. árboles	No. radios	Periodo	Desv. estandar	Autoco-rrelación	Sensibilidad media	$R\text{-bar}$	$EPS$
Concepción	29	38	1829-2004	0,32	0,41	0,27	0,27	0,92
Santa Anita	31	36	1881-2007	0,32	0,49	0,33	0,21	0,90
Zapocó	23	33	1882-2007	0,24	0,44	0,25	0,22	0,86
Santa Mónica	38	50	1847-2005	0,31	0,61	0,28	0,32	0,95
Makanaté	26	30	1909-2006	0,22	0,61	0,24	0,21	0,87
Guarayos-LC	24	24	1900-2007	0,46	0,64	0,29	0,15	0,86

En general, todas las cronologías muestran valores de los  $R\text{-bar}$  relativamente altos durante los periodos iniciales. En estos sectores, el número de muestras es muy reducido y la influencia de radios provenientes de una misma sección transversal podrían estar „inflando“ estos valores de  $R\text{-bar}$ .

En ambos distritos biogeográficos los valores del  $EPS$  se mantienen por encima del umbral de 0,85 establecido por (Wigley *et al.* 1984). Para las cronologías de Makanaté y Guarayos-La Chonta los valores de  $EPS$  son durante todo el siglo 20 muy próximos a 0,85. Estos son los registros dendrocronológicos más cortos desarrollados de *C. microchaete* y por lo tanto integrados por un porcentaje alto de individuos jóvenes con mayor variabilidad interanual en el ancho de sus anillos de crecimiento, lo que puede explicar los valores más bajos de  $EPS$  para estas dos cronologías (Fig. 6.5). Estos valores de  $EPS$  son también consistentes con los valores de  $R\text{-bar}$  más bajos registrados entre cronologías.

Si bien hemos podido observar en algunos casos que las variaciones interanuales en el crecimiento de *Centrolobium microchaete* son relativamente similares aún cuando los sitios correspondan a diferentes distritos biogeográficos, hay otras cronologías que no se relacionan entre sí, aún cuando se encuentren en el mismo distrito biogeográfico.

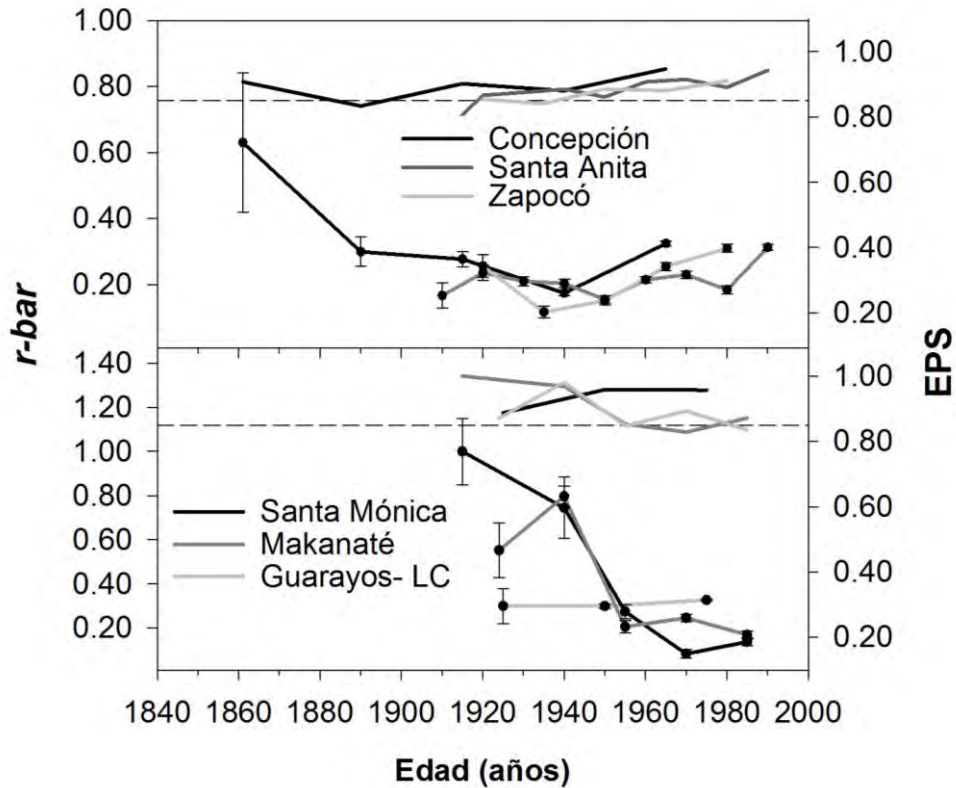


Figura. 6.5. Variaciones temporales de los estadísticos  $R\text{-bar}$  y  $EPS$  (Expressed Population Signal) para las cronologías de *Centrolobium microchaete* provenientes de los seis sitios de muestreo. Estos estadísticos fueron calculados para segmentos de 50 años desplazados 25 años entre ellos. Las líneas negras segmentadas a los 0.85 es el límite de aceptación para los valores del  $EPS$  y las líneas verticales representan los errores asociados a cada valor de  $R\text{-bar}$  indicado por un círculo negro.

El coeficiente de correlación entre índices de crecimiento es significativo ( $r = 0,256$ ,  $p < 0,005$ ,  $n = 32$ ) entre Santa Anita y Zapocó, separadas aproximadamente 80 km entre sí pero localizadas ambas en el distrito biogeográfico Chiquitano. Asimismo, si consideramos los 90 años más recientes cuando las cronologías de Concepción y Santa Mónica están compuestas por más de 10 muestras, el coeficiente de correlación entre los índices de crecimiento es altamente significativo ( $r = 0,570$ ,  $p < 0,001$ ), sugiriendo controles ambientales similares en el crecimiento de *C. microchaete* en estos dos sitios ubicados en los distritos Chiquitano y de

Guarayos, respectivamente. De igual manera, la correlación entre los índices de crecimiento entre los sitios de Makanaté y Guarayos–La Chonta es significativa, pero con valores de  $r$  más bajos ( $r = 0,14$ ,  $p < 0,005$ ,  $n = 59$ ). Por el contrario, no observamos patrones similares de crecimiento entre las cronologías de Santa Anita y Zapocó con Concepción, aún cuando estas tres cronologías pertenecen al distrito biogeográfico Chiquitano.

En particular, las cronologías de Makanaté y Guarayos–LC no están correlacionadas con las del distrito Chiquitano, o solo lo hacen muy débilmente (Guarayos–LC con Zapocó,  $r = 0,24$ ,  $p < 0,005$ ). Estos resultados nos indicarían que si bien hay factores comunes que controlan el crecimiento de *C. microchaete* a escala regional, hay diferencias ambientales entre los sitios de muestreo (particularmente en relación a la disponibilidad hídrica) o en la dinámica de los rodales muestreados que introducen diferencias en el crecimiento entre sitios. Particularmente las diferencias aun pueden ser mayores si se considera aspectos como la calidad de sitio, o simplemente la intensidad de incendios forestales y el aprovechamiento selectivo al cual fueron sometidos algunos bosques históricamente.

En la Tabla 6.5, se muestran los coeficientes de correlación entre índices de crecimiento para las seis localidades muestreadas, lo que indica claramente la existencia de una mayor variabilidad en el crecimiento de *C. microchaete* en sitios más húmedos, tal es el caso del distrito biogeográfico de Guarayos en comparación a los sitios del distrito biogeográfico Chiquitano.

Tabla 6.5. Coeficientes de correlación entre índices de crecimiento de *Centrolobium microchaete* para los sitios de muestreo, ( $n=97$ ) y todas al 95% de probabilidad. Las columnas en gris corresponden a los sitios del distrito biogeográfico Chiquitano.

Variables	Concepción	S. Anita	Zapocó	S. Mónica	Makanaté
Concepción	---				
S. Anita	0,18	---			
Zapocó	0,15	0,25	---		
S. Mónica	0,57	0,10	0,27	---	
Makanaté	0,24	0,12	0,14	0,33	---
Guarayos	0,19	0,10	0,24	0,46	0,14

### 3.2. Relación clima–crecimiento

#### 3.2.1. Concepción

En términos generales, el crecimiento de *Centrolobium microchaete* en la localidad de Concepción está favorecido por la ocurrencia de periodos con abundantes precipitaciones y temperaturas relativamente menores a los valores medios. El crecimiento radial está significativamente correlacionado con la precipitación durante los meses de Noviembre a Enero de la estación previa y con el mes de Noviembre de la estación corriente de crecimiento (Fig. 6.6). Por el contrario, las temperaturas elevadas durante los meses de Septiembre, Noviembre, Diciembre y Enero de la estación previa al crecimiento están negativamente correlacionados con el crecimiento. Asimismo, las temperaturas durante Noviembre y Diciembre de año de formación del anillo están negativamente correlacionadas con el crecimiento de *Centrolobium microchaete* en la localidad de Concepción.

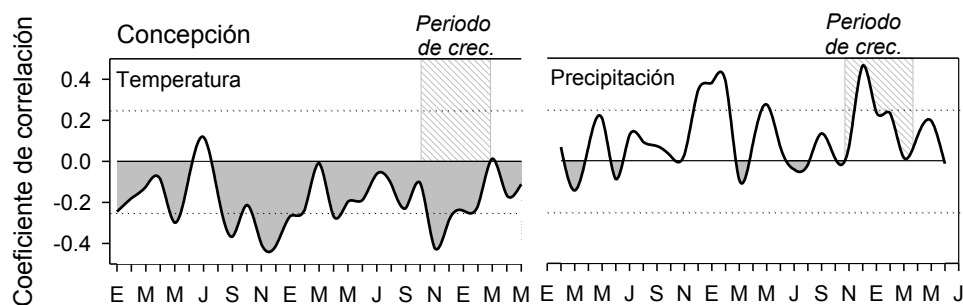


Figura 6.6. Funciones de correlación para la cronología de Concepción mostrando los coeficientes de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura y la precipitación con el índice de crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* en esta localidad. El período analizado se extiende desde el mes de Enero de dos estaciones previas de crecimiento hasta el mes de Mayo de la estación corriente de crecimiento. El período de formación de los anillos (período de crecimiento) se indica como referencia. Las líneas punteadas representan el nivel de significancia del 95% ( $p < 0.05$ ).

En la Figura 6.6, se muestran las relaciones temporales durante el período 1944 a 2005 entre las variaciones en el índice de crecimiento de *C. microchaete* en Concepción y la marcha de las temperaturas y precipitación, expresados como desvíos normalizados, para el conjunto de los meses de Noviembre a Enero durante la estación previa y corriente de crecimiento. La

elección de estos periodos (Noviembre–Enero) de comparación están basados en los resultados provistos por las funciones de respuestas que se muestran en la Figura 5.6. Durante el intervalo 1944–2005, que cubre 62 años de comparación, las variaciones en el crecimiento están correlacionadas en forma directa con la precipitación ( $r^2 = 0,39$ ;  $p < 0,01$ ) e inversamente con la temperatura ( $r^2 = 0,24$ ;  $p < 0,01$ ) de Noviembre a Enero (finales del verano y principios de otoño). En esta localidad, el 43% de la variación total en el crecimiento de *Centrolobium microchaete* durante el período 1944–2005 puede ser explicado a través del índice de humedad (IH), una medida indirecta del déficit hídrico basada en los intervalos temporales (Noviembre–Enero) de precipitación y temperatura (Fig. 6.7C).

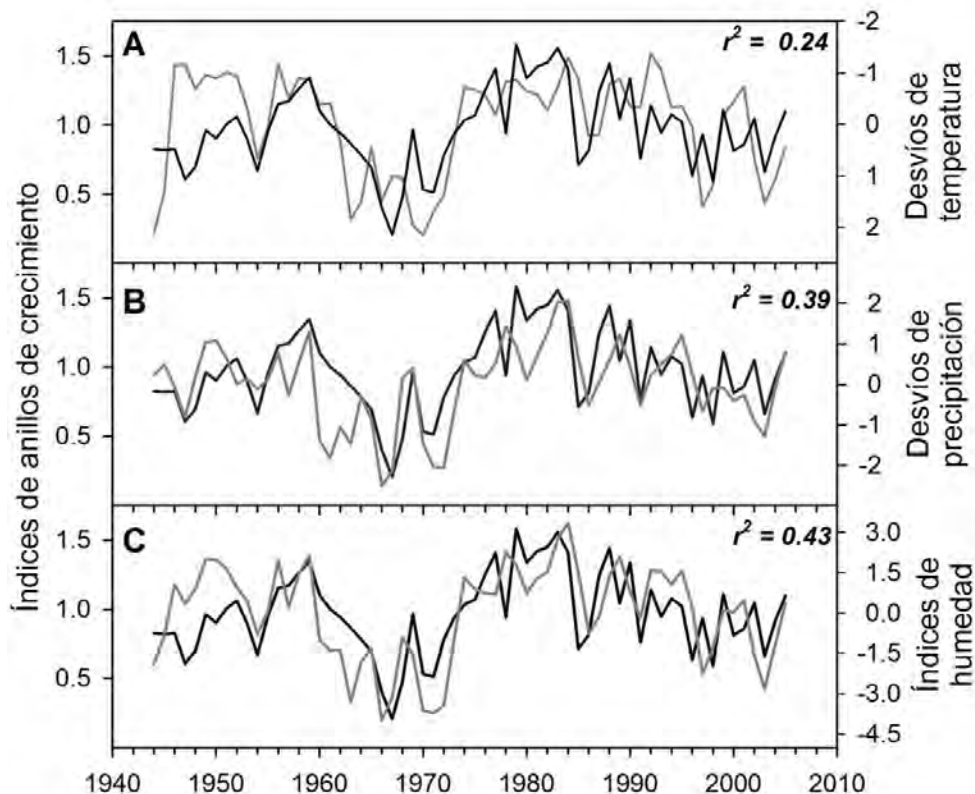


Figura. 6.7. Comparación entre las variaciones interanuales durante el intervalo 1943–2005 con el crecimiento de *C. microchaete* en la localidad de Concepción con la temperatura (A), precipitación (B) y con el índice de humedad (C) para Noviembre a Enero durante la estación previa y corriente de crecimiento. El total de la variación interanual ( $r^2$ ) en el crecimiento de *C. microchaete* explicado por cada índice se muestra en el cuadrante superior derecho. En línea negra se muestra la variación interanual del crecimiento y en gris la variación de la temperatura, precipitación e índice de humedad.



### 3.2.2. Santa Anita

Santa Anita representa a la localidad ubicada más al sur del distrito biogeográfico Chiquitano. El crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* está directamente relacionado con las precipitaciones de los meses Julio a Septiembre durante la estación de crecimiento. También se observaron correlaciones positivas con la precipitación de los meses Febrero a Abril durante la estación previa al crecimiento.

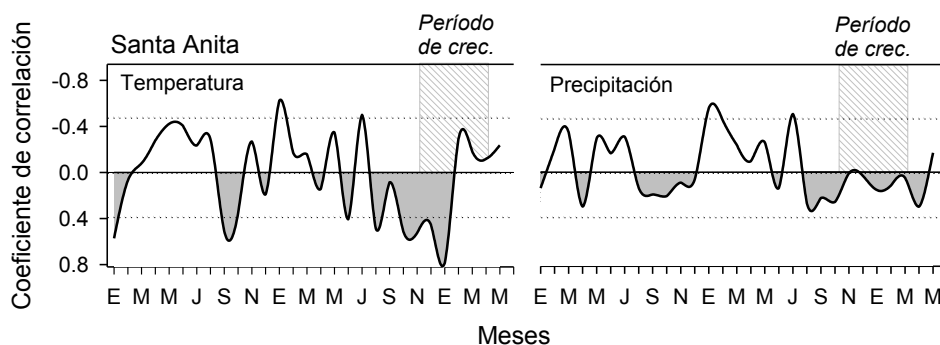


Figura 6.8. Funciones de correlación para la cronología de Santa Anita indicando los coeficientes de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura y la precipitación con el índice de crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* en esta localidad. El período analizado se extiende desde el mes de Noviembre de dos estaciones previas de crecimiento hasta el mes de Abril de la estación corriente de crecimiento. El período de formación de los anillos (período de crecimiento) se indica para referencia.

No se observaron correlaciones positivas con precipitaciones del año previo al crecimiento y tampoco mejoraron las correlaciones cuando se incluyeron todos los meses pertenecientes a la estación húmeda correspondiente a esta localidad. Por el contrario, las temperaturas elevadas durante los meses de Enero a Abril de la estación corriente del crecimiento están negativamente correlacionadas con el crecimiento. Se observaron correlaciones significativas con la temperatura del mes de Mayo y Junio del año previo a la estación de crecimiento (Fig. 6.8).

Mediante un procedimiento similar al empleado en el caso anterior, las variaciones en el crecimiento de *C. microchaete* fueron modeladas regresivamente en función de las variables climáticas durante el periodo 1979–2007. Para ello se emplearon los desvíos normalizados de

precipitación y temperatura de la localidad de San Javier, la estación meteorológica más próxima a Santa Anita.

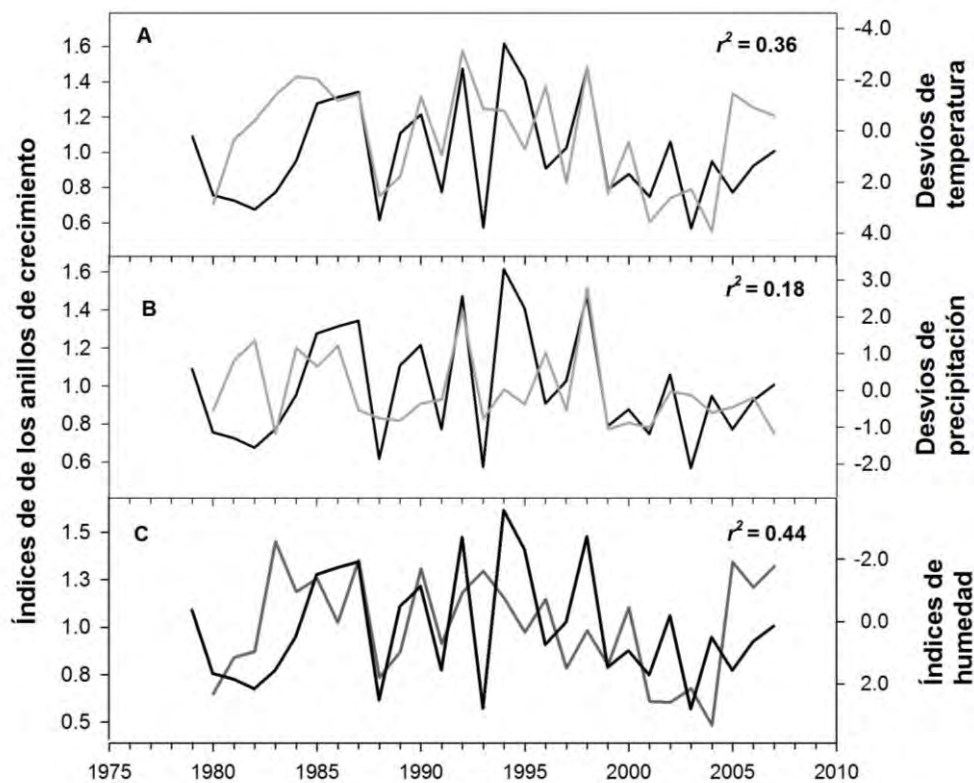


Figura 6.9. Comparación entre las variaciones interanuales durante el intervalo 1943–2005 con el crecimiento de *C. microchaete* en la localidad de Santa Anita con la temperatura (A), precipitación (B) y con el índice de humedad (C) para Julio a Septiembre y Enero a Abril durante la estación previa de crecimiento. El total de la variación interanual ( $r^2$ ) en el crecimiento de *C. microchaete* es explicado por cada índice. En línea negra se muestra la variación interanual del crecimiento y en gris la variación de la temperatura, precipitación e índice de humedad.

Se observa que las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de *Centrolobium microchaete* en la localidad de Santa Anita están correlacionadas con las variaciones de la precipitación ( $r^2 = 0,18$ ;  $n = 28$ ) durante el inicio y finales de la estación lluviosa, específicamente en los meses de Julio, Agosto y Septiembre (finales de invierno y comienzos de primavera). En cambio, las altas temperaturas durante los meses de Enero a Abril (verano y comienzos de otoño) están negativamente correlacionadas con el crecimiento ( $r^2 = 0,36$ ;  $n = 28$ ) como se puede observar en la Figura 8 A y B. Para la localidad de Santa Anita, el 44% de la variación total en el crecimiento de *C. microchaete* durante el periodo 1943–2005, puede

ser explicado mediante el índice de humedad. Este índice es resultado de una medida indirecta del déficit hídrico basado en los intervalos temporales desde Julio hasta Abril de precipitación y la temperatura (Fig. 6.9 C).

### 3.2.3. Zapocó

La comunidad de Zapocó se encuentra netamente en el corazón de la región Chiquitana. El crecimiento radial de *C. microchaete* está altamente correlacionado con la precipitación de los meses Noviembre a Marzo durante la estación de crecimiento.

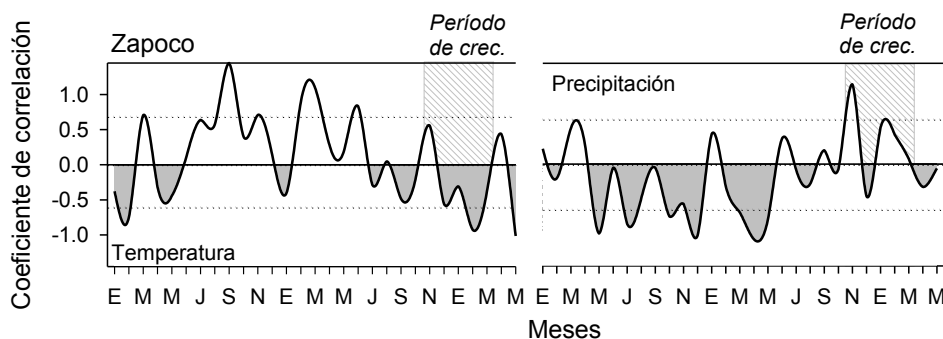


Figura 6.10. Funciones de correlación para las cronologías de Zapocó mostrando los coeficientes de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura y la precipitación con el índice de crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* en Zapocó. El período analizado se extiende desde el mes de Enero de dos estaciones previas de crecimiento hasta el mes de Mayo de la estación corriente de crecimiento. El período de formación de los anillos (período de crecimiento) se indica como referencia.

No se observaron correlaciones positivas con la precipitación durante la estación previa al crecimiento. Por el contrario, las altas temperaturas características de esta localidad durante los meses de Diciembre a Marzo de la estación previa de crecimiento están negativamente correlacionadas con el crecimiento de *C. microchaete*. Efectivamente se observaron correlaciones significativas con las temperaturas Febrero y Marzo del año previo a la estación de crecimiento. (Fig. 6.10).

En la localidad de Zapocó, los índices de crecimiento durante el intervalo 1943–2007 (64 años) fueron comparados con los desvíos de la precipitación y de temperatura de la estación meteorológica de Concepción la más cercana a esta localidad. En dicho intervalo se observó

que las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de *Centrolobium microchaete*, está fuertemente correlacionada con las variaciones estacionales de la precipitación, durante los meses de Noviembre a Marzo (primavera y verano;  $r^2 = 0,30$ ;  $n = 63$ ). La temperatura esta inversa y significativamente correlacionada ( $r^2 = 0,18$ ;  $n = 63$ ) con los meses Diciembre a Marzo (verano e inicios de otoño) como se observa en la Figuras 6.11 A y B.

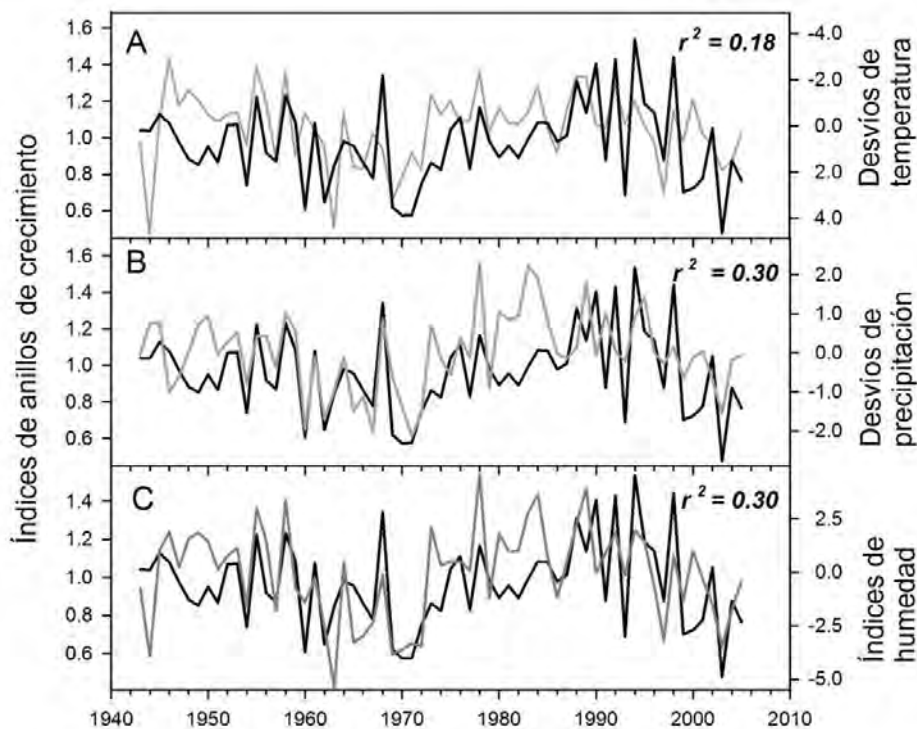


Figura 6.11. Comparación entre las variaciones interanuales durante el intervalo 1943–2007 con el crecimiento de *C. microchaete* en la localidad de Zapocó con la temperatura (A), precipitación (B) y el índice de humedad (C) para Octubre a Marzo durante la estación previa de crecimiento. El total de la variación interanual ( $r^2$ ) en el crecimiento de *C. microchaete* explicado por cada índice. En línea negra se muestra la variación interanual del crecimiento y en gris la variación de la temperatura, precipitación e índice de humedad.

En esta localidad, el 30% de la variación total en el crecimiento de *C. microchaete* durante 1943–2007, se explica a través del índice de humedad, una medida indirecta del déficit hídrico, que para la cronología de Zapoco está basado en las variaciones de precipitación de Noviembre–Marzo y temperatura de Diciembre–Marzo (Fig. 6.11 C).

### 3.2.4. Santa Mónica

En la localidad de Santa Mónica, el crecimiento radial de *C. microchaete* está directamente correlacionado con las precipitaciones desde Agosto a Enero durante la estación de crecimiento (Fig. 6.12). A diferencia del sitio de Concepción, no se observaron relaciones positivas con las precipitaciones durante la estación previa al crecimiento. Asimismo, el período durante el año en el cual se registran relaciones significativas se extiende desde Agosto a Enero, iniciándose tres meses antes de lo observado en Concepción. La relación con la temperatura durante el mismo período (Agosto a Enero) es inversa y significativa.

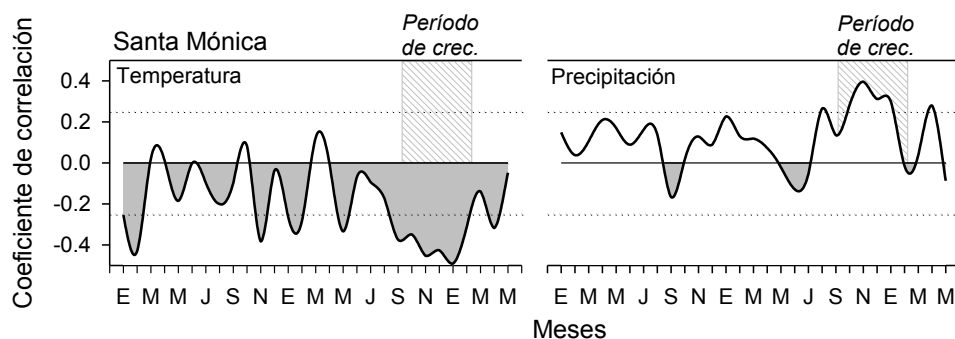


Figura 6.12. Funciones de correlación para la cronología de Santa Mónica mostrando los coeficientes de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura y la precipitación con el índice de crecimiento radial de *Centrolobium microchaete*. El período analizado se extiende desde el mes de Enero de dos estaciones previas de crecimiento hasta el mes de Mayo de la estación corriente de crecimiento. El período de formación de los anillos (período de crecimiento) se indica como referencia.

En la Figura 6.13 A y B, se presenta la variación interanual del crecimiento de *C. microchaete* y los desvíos normalizados de temperatura y precipitación para un intervalo de 62 años desde 1943–2005. La comparación entre ambas variables estuvo limitado al promedio estacional desde Agosto a Enero durante el período de crecimiento corriente, en este intervalo observamos que las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de *C. microchaete* en la localidad de Santa Mónica están correlacionadas con las variaciones estacionales de la precipitación ( $r^2 = 0,30$ ;  $n = 63$ ) y la temperatura ( $r^2 = 0,29$ ;  $n = 63$ ). Para esta localidad el 40% de la variación total en el crecimiento de la especie durante 1943–2005, se explica a través del índice de humedad. Estos índices resultan de una medida indirecta del déficit hídrico basado en las variaciones de precipitación de Agosto a Enero y temperatura en los mismos meses (Fig. 6.13C).

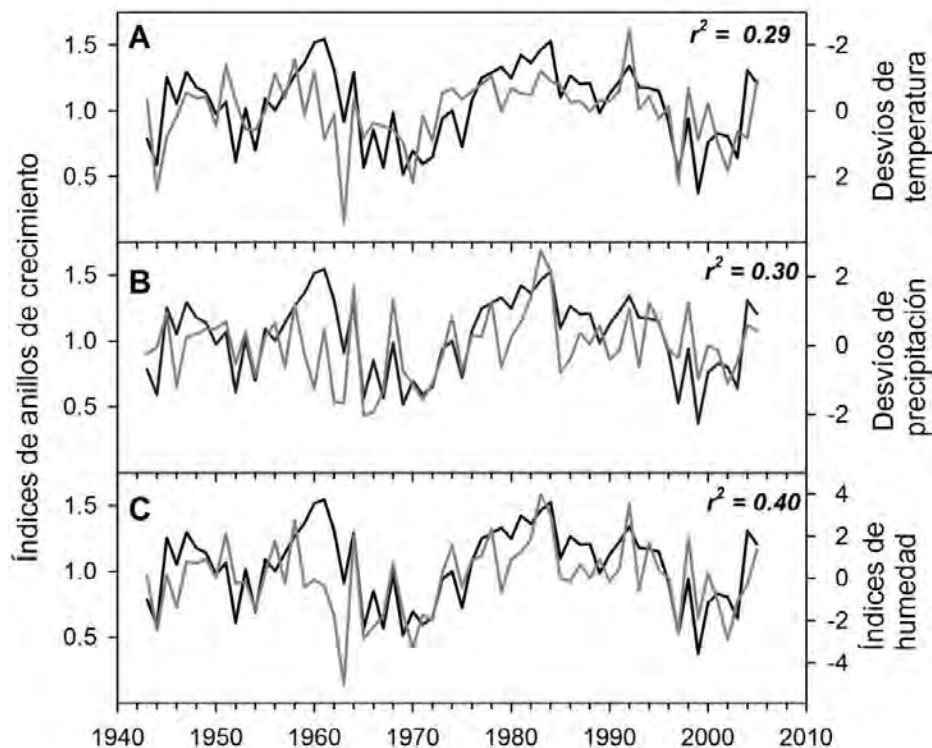


Figura 6.13. Comparación entre las variaciones interanuales durante el intervalo 1943–2005 con el crecimiento de *C. microchaete* en la localidad de Santa Mónica con la temperatura (A), precipitación (B) y con el índice de humedad (C) para Agosto a Enero durante la estación corriente de crecimiento. El total de la variación interanual en el crecimiento de *C. microchaete* explicado por cada variable es indicado por el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) en el crecimiento de *C. microchaete* explicado por cada índice. En línea negra se muestra la variación interanual del crecimiento y en gris la variación de la temperatura, precipitación e índice de humedad

### 3.2.5. Makanaté

En la localidad de Makanaté, el crecimiento radial de *C. microchaete* está correlacionado significativamente con las precipitaciones de los meses de Septiembre y Noviembre de la estación corriente y el mes de Septiembre del año previo al crecimiento. En cambio, las temperaturas elevadas durante los meses de Septiembre a Enero de la estación corriente están negativamente correlacionadas con el crecimiento. Asimismo, las temperaturas durante Julio, Agosto y Septiembre de año previo a la formación del anillo están negativamente correlacionadas con el crecimiento (Fig. 6.14).

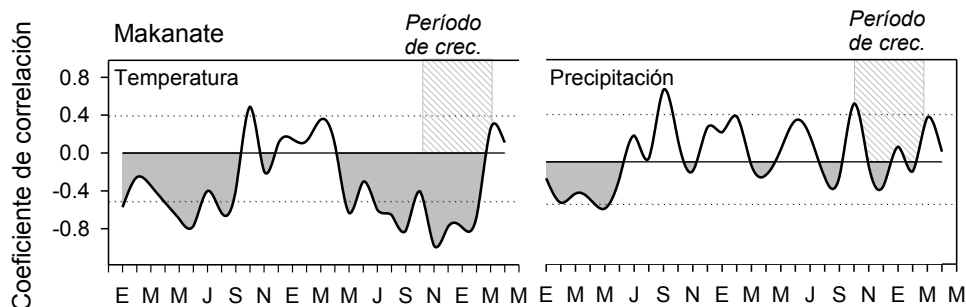


Figura 6.14. Funciones de correlación para la cronología de Makanaté indicando los coeficientes de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura y la precipitación con el índice de crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* en dicha localidad. El período analizado se extiende desde el mes de Noviembre de dos estaciones previas de crecimiento hasta el mes de Marzo de la estación corriente de crecimiento. El período de formación de los anillos (período de crec.) se indica como referencia.

Siguiendo el método de comparación entre las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de *C. microchaete* y los desvíos regionales de temperatura y precipitación en la localidad de Makanaté, para un intervalo de 37 años desde 1970–2007, se observó una correlación significativa ( $r^2 = 0,13$ ;  $n = 37$ ) con las variaciones estacionales de la precipitación regional de Guarayos, principalmente durante los primeros meses de la estación húmeda (finales de primavera y comienzo de verano). Por el contrario la temperatura está relacionada en forma inversa ( $r^2 = 0,33$ ;  $n = 43$ ) durante la misma estación (Figura 6.15 A y B). Para esta localidad el treinta y seis por ciento del crecimiento de *C. microchaete* se explica a través de los índices de humedad, el cual resulta una medida indirecta del déficit hídrico basado en los intervalos temporales de (Septiembre –Noviembre) de precipitación y (Noviembre–Enero) para la temperatura (Fig. 6.15 C).

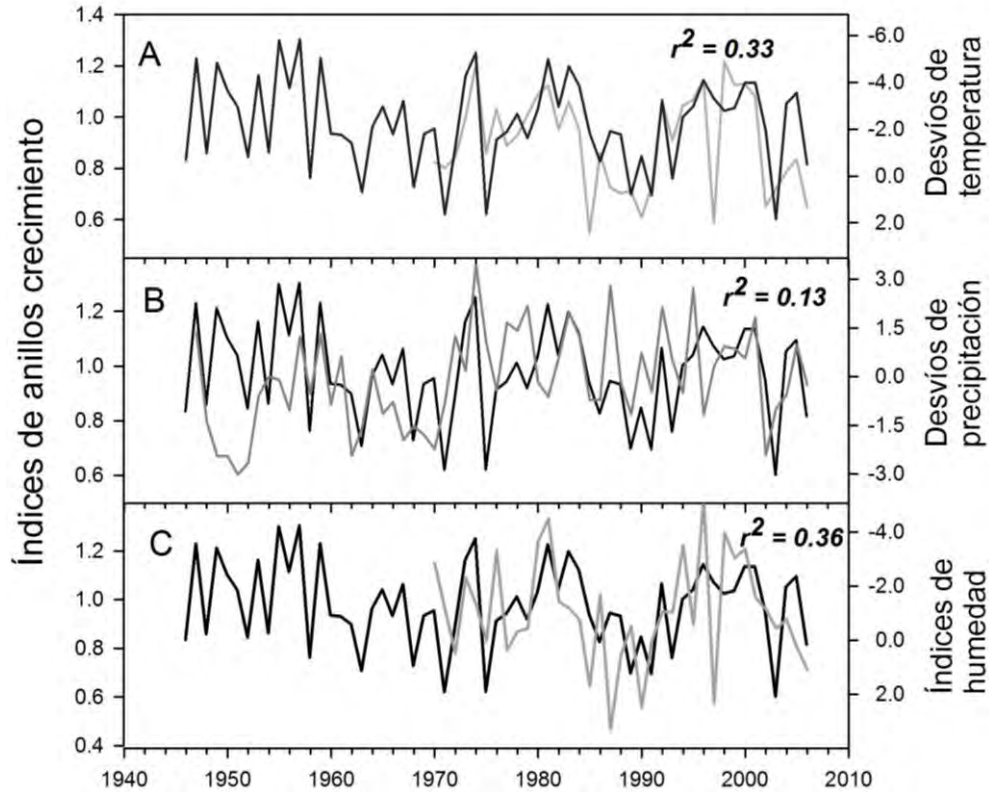


Figura 6.15. Comparación entre las variaciones interanuales durante el intervalo 1943–2007 con el crecimiento de *C. microchaete* en la localidad de Makanaté con la temperatura (A), precipitación (B) y el índice de humedad (C) para Octubre a Enero durante la estación previa de crecimiento. El total de la variación interanual ( $r^2$ ) en el crecimiento de *C. microchaete* explicado por cada índice. En línea negra se muestra la variación interanual del crecimiento y en gris la variación de la temperatura, precipitación e índice de humedad.

### 3.2.6. Guarayos–La Chonta (LC)

El crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* en la localidad Guarayos–La Chonta, está relacionado en forma directa con la precipitación de los meses de Abril, Mayo, Septiembre y Octubre de la estación corriente. Así mismo se observó una correlación positiva del crecimiento con los meses Septiembre y Octubre de la estación previa a la estación de crecimiento. A su vez, las altas temperaturas durante los meses de Mayo a Noviembre de la estación corriente y de Mayo a Septiembre de la estación previa al crecimiento, son inversa y significativa al crecimiento de *C. microchaete* (Fig. 6.16).



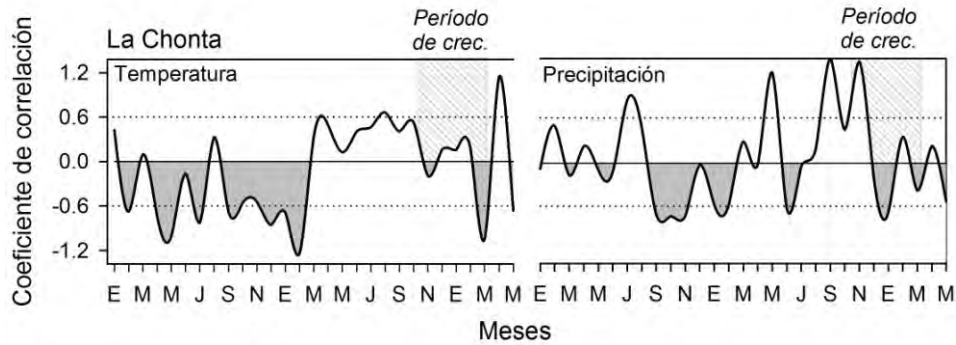


Figura 6.16. Funciones de correlación para la cronología de Guarayos–La Chonta mostrando los coeficientes de correlación entre las variaciones mensuales de la temperatura, la precipitación y el índice de crecimiento radial de *Centrolobium microchaete* en esta localidad. El período analizado se extiende desde el mes de Enero de dos estaciones previas de crecimiento hasta el mes de Mayo de la estación corriente de crecimiento. El período de formación de los anillos (período de crecimiento) se indica como referencia.

Para el periodo 1970 a 2007 (37 años), las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de *Centrolobium microchaete* en la localidad de Guarayos–La Chonta están fuertemente correlacionadas con las variaciones estacionales de la precipitación regional de Guarayos ( $r^2 = 0,26$ ;  $n = 58$ ) durante inicios de primavera y finales de otoño. A su vez, la temperatura (1948–2007) de invierno y primavera están positivamente correlacionadas con el crecimiento de *C. microchaete* ( $r^2 = 0,26$ ;  $n = 37$ ; Figura 6.17 A y B).

Finalmente en esta localidad, el cuarenta por ciento de la variación total en el crecimiento de *C. microchaete* durante 1970–2007, se explica a través del índice de humedad, una medida indirecta del déficit hídrico basada en los intervalos temporales (Abril–Octubre) de precipitación y (Mayo–Noviembre) en la temperatura (Fig. 6.17C).

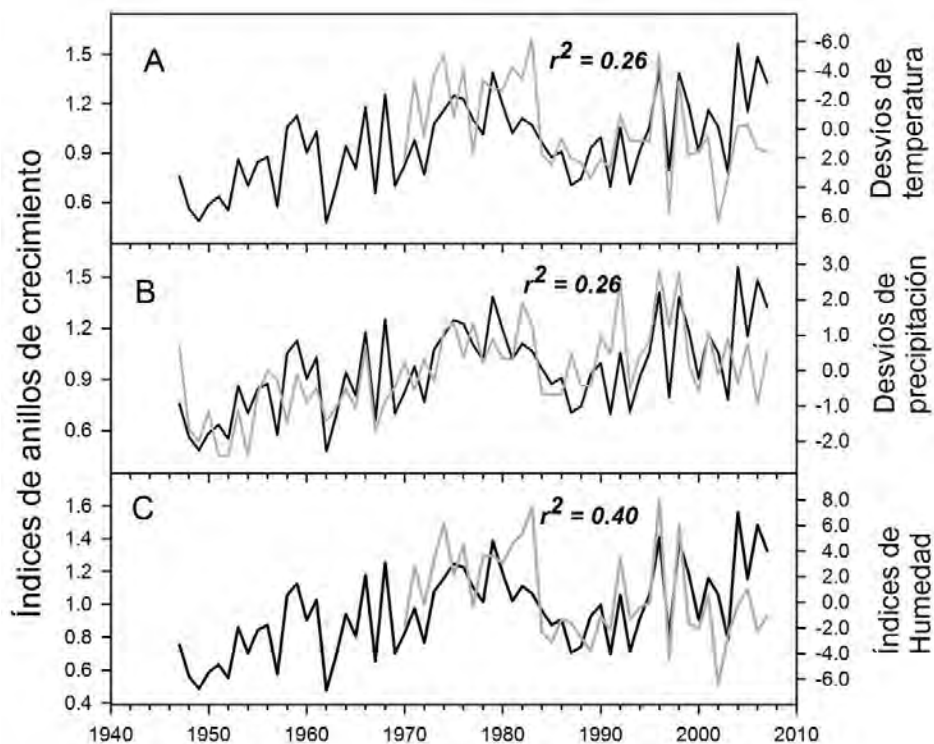


Figura 6.17. Comparación entre las variaciones interanuales durante el intervalo 1943–2007 con el crecimiento de *C. microchaete* en la localidad de Guarayos–La Chonta con la temperatura (A), precipitación (B) y el índice de humedad (C) para Noviembre a Abril durante la estación previa de crecimiento. El total de la variación interanual ( $r^2$ ) en el crecimiento de *C. microchaete* explicado por cada índice. En línea negra se muestra la variación interanual del crecimiento y en gris la variación de la temperatura, precipitación e índice de humedad.

#### 4. Discusión y conclusiones

En este estudio se presentan las seis cronologías de anillos de árboles derivadas a partir de *Centrolobium microchaete*, especie de alto valor forestal, distribuida en el trópico transicional y seco de la provincial biogeográfica de Cerrado Boliviano. Estas cronologías, ubicadas en el sector sur de la cuenca Amazónica a 16°S, representan un importante avance en el esfuerzo de desarrollar registros dendrocronológicos en las regiones tropicales de América del Sur. Si bien otras cronologías de anillos de árboles han sido desarrolladas en latitudes similares de América del Sur, ellas provienen de *Polylepis tarapacana* y *Polylepis pepeii*, especies que crecen a más de 4000 m de altura en el Altiplano Boliviano (Roig *et al.* 2001, Solíz *et al.* 2009). En la región Amazónica de Bolivia existen intentos previos para desarrollar cronologías a partir de especies tropicales (Brienen 2005). Sin embargo, estos registros son de

corta extensión (< de 30 años), basados en pocos individuos (< 10 árboles), o presentan valores relativamente bajos de inter-correlación entre diferentes árboles, sugiriendo la falta de una señal común robusta en el crecimiento de los diferentes individuos que integran la cronología. Por ello, nuestros registros constituyen las seis primeras cronologías precisamente datadas, bien replicadas, y estadísticamente confiables desarrolladas en la región Amazónica de Bolivia. Los estadísticos tradicionalmente empleados en dendrocronología indican que las cronologías son de buena calidad con un alto porcentaje de señal común en el crecimiento entre los árboles en ambos sitios. Los valores de  $R\text{-bar}$  (en todos los casos superiores a 0,21 excepto para Guarayos–La Chonta, Tabla 5.4) indican alta consistencia entre las series que componen cada uno de las cronologías. Estos valores de  $R\text{-bar}$  son comparables con los reportados para otras cronologías en América del Sur, incluyendo sitios ubicados en climas templados a fríos y con una marcada estacionalidad térmica como en la Patagonia (0,25 a 0,41 para *Nothofagus pumilio*; Lara *et al.* 2008), o en el Altiplano Boliviano (0,23 a 0,50 para *Polylepis tarapacana*; Solíz *et al.* 2009). Finalmente, es importante mencionar que si bien las cronologías desarrolladas hasta el presente solo cubren los últimos 180 años, la incorporación de muestras de mayor longevidad provenientes de los bosques nativos no manejados permitirán no solo aumentar la señal común del crecimiento en los sectores con baja replicación, sino que también extender estos registros en el tiempo.

Si bien se han observado algunas diferencias en el crecimiento de *C. microchaete* en ambas distritos biogeográficos, esto también ocurrió entre localidades (Tabla 5.5). Para algunas cronologías, se noto que las variaciones interanuales en el crecimiento guardan un importante paralelismo durante el siglo XX, cuando la replicación de los registros es adecuada. Las cronologías de Concepción y Santa Mónica, que provienen de sitios cercanos aún cuando no pertenecientes a un mismo distrito, presentan variaciones similares mostrando un crecimiento alrededor del valor medio desde aproximadamente 1920 hasta 1950 (Fig. 6.4). Posteriormente, un aumento en el crecimiento en ambas cronologías durante la década de 1960 es seguido por los índices más bajos registrados en el siglo XX, centrados particularmente entre 1969 y 1972. Este intervalo de reducción extrema en el crecimiento es concordante con una grave sequía documentada a nivel regional (Ronchail 1995). Posteriormente, ambos registros muestran un incremento marcado de crecimiento durante la década de 1980 y retorno a valores medios de crecimiento a fines de 1990 y comienzos del siglo XXI. Las similitudes en las variaciones

interanuales del crecimiento durante los últimos 90 años ( $r = 0,504$ ,  $p > 0,001$ ), sugieren que ambos rodales de *C. microchaete* responden a controles ambientales similares. Sin embargo, las funciones de correlación revelan algunas diferencias en las respuestas de cada rodal al clima.

El crecimiento de *C. microchaete* en Concepción y Santa Mónica está fuertemente influenciado por las condiciones climáticas durante la primavera y el verano. Las lluvias de primavera-verano favorecen el crecimiento radial, en tanto que temperaturas por encima del valor medio durante el mismo período, están inversamente correlacionadas con el crecimiento. En Concepción, el crecimiento radial está más fuertemente relacionado con las condiciones de primavera-verano durante la estación previa de crecimiento. Por el contrario, en Santa Mónica no observamos relaciones significativas entre el crecimiento de *C. microchaete* y el clima durante la estación previa de crecimiento. Aún cuando en numerosas especies forestales que crecen en América del Sur y otras regiones se ha observado que las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento previa a la formación del anillo son decisivas en determinar su crecimiento (Villalba *et al.* 1992, Solíz *et al.* 2009), resulta difícil encontrar las causas de las diferencias observadas entre ambos rodales. Es probable que diferencias en el contenido de humedad del suelo y en la extensión del período seco anual contribuyan con las diferentes respuestas documentadas en Concepción y Santa Mónica. Así, por ejemplo, hemos notado que en Santa Mónica las relaciones entre crecimiento y el clima son significativas durante 6 meses al año (desde Agosto hasta Enero; Fig. 6.12), en tanto que en Concepción se restringe a solo 3 meses (Noviembre a Enero; Fig. 6.6). Dada la mayor precipitación anual en Santa Mónica, es posible que la humedad del suelo en el mes de Agosto sea adecuada para permitir el inicio del crecimiento. Por el contrario, el déficit hídrico en Concepción se extiende hasta bien entrada la estación de crecimiento y recién en Noviembre, cuando las precipitaciones mensuales superan en promedio los 100 mm, la humedad del suelo es adecuada para permitir el inicio del crecimiento.

Del mismo modo, las cronologías de *C. microchaete* en Santa Anita y Zapocó, cercanas entre sí y pertenecientes ambas al distrito Chiquitano, presentan variaciones interanuales que muestran un importante paralelismo durante el siglo XX. En ambas cronologías se observan crecimientos por encima del valor medio desde aproximadamente 1900 hasta 1920 (Fig. 6.4). A continuación de este periodo de buen crecimiento, en ambas cronologías se inicia un

periodo de lenta reducción gradual en el crecimiento que persiste hasta aproximadamente 1980. En ambas cronologías, los índices más bajos registrados durante el siglo XX están centrados entre 1967 y 1972 (Fig. 6.4). Posteriormente, ambos registros muestran un incremento marcado de crecimiento que va desde los comienzos de los 80 hasta el año 1993, con un retorno a los valores medios de crecimiento a fines de 1995 y comienzos del siglo XXI. Las similitudes en las variaciones interanuales del crecimiento durante los últimos 90 años ( $r = 0,58$ ,  $p < 0,05$ ), sugieren que ambos rodales de *C. microchaete* responden a controles ambientales similares. Sin embargo, las funciones de correlación revelan algunas diferencias en las respuestas de cada rodal al clima.

El crecimiento de *C. microchaete* en Santa Anita está fuertemente influenciado por las condiciones climáticas durante el último mes de invierno y la primavera. Las lluvias de primavera favorecen el crecimiento radial, en tanto que temperaturas por encima del valor medio durante las estaciones verano–otoño, están inversamente correlacionadas con el crecimiento. En Zapocó, el crecimiento radial está más fuertemente relacionado con las condiciones de primavera–verano durante la estación previa de crecimiento. Por el contrario, en Santa Anita, no observamos relaciones significativas entre el crecimiento de *C. microchaete* y el clima durante la estación previa de crecimiento.

Al igual que las localidades de Concepción y Santa Mónica, resulta difícil encontrar las causas de las diferencias observadas entre ambos rodales de Santa Anita como el de Zapocó. Es probable que diferencias en el tiempo de duración del contenido de humedad del suelo sea un factor determinante. En Santa Anita las relaciones entre crecimiento y el clima son significativas durante tres meses al año (Julio a Septiembre; Fig. 6.8), en tanto que en Zapocó se extiende a 5 meses (Noviembre a Marzo; Fig. 6.10). En ambos sitios la precipitación anual es similar, aunque en Santa Anita, al parecer la estación húmeda puede extenderse por un mes más. En Santa Anita, es posible que las primeras lluvias ocurridas en el mes de Julio a Septiembre sean adecuadas para permitir el inicio del crecimiento. Al parecer la exposición sur y su cercanía a muchos distritos con diferentes características en cuanto al clima, hace que este sitio de muestreo tenga una alta influencia por las corrientes cálidas y húmedas o frías y secas de invierno. Los suelos establecidos sobre rocas cubiertos por una densa vegetación que mantienen la humedad de precipitaciones procedentes de diferentes direcciones parecerían ser el factor principal y suficiente para saturar los suelos de agua aunque las precipitaciones en

esta localidad sean bajas. Por lo tanto, las precipitaciones caídas durante los primeros como los últimos de cada estación húmeda son los más importantes para que se inicie el crecimiento de *C. microchaete*. Por el contrario, el déficit hídrico en Zapocó se extiende hasta bien entrada la estación de crecimiento y recién en Noviembre, cuando las precipitaciones mensuales superan en promedio los 100 mm, la humedad del suelo es adecuada para permitir el inicio del crecimiento.

Finalmente observamos que las localidades de Makanaté y Guarayos–La Chonta, ambas cercanas entre sí, presentan un patrón similar en cuanto a condiciones climáticas, poseen un similar crecimiento de *C. microchaete*, en algunos periodos. En las Localidades de Makanaté y Guarayos–LC en las cronologías se observan crecimientos por encima del valor medio desde aproximadamente 1915 hasta 1925, este incremento es más notable en la cronología de Guarayos–LC. Seguido a este crecimiento, en cronologías de Makanaté se nota crecimientos superiores a la media 1940 hasta 1960, luego los valores son inferiores hasta 1975, posteriormente en ambas cronologías muestran valores inferiores a la media, en Guarayos–LC desde 1925 hasta 1975. Posteriormente, ambos registros muestran un incremento marcado de crecimiento durante la década de 1980 y retorno a valores medios de crecimiento a fines de 1985, seguido por un periodo de crecimiento inferior entre 1990 y 1995, nuevamente retornando a los valores medios a comienzos del siglo XXI. Las similitudes en las variaciones interanuales del crecimiento en algunos periodos durante los últimos 90 años ( $r = 0,330$ ,  $p < 0,05$ ), sugieren que ambos rodales de *C. microchaete* responden a controles ambientales similares. Sin embargo, las funciones de correlación revelan que existen algunas diferencias en las respuestas de cada rodal a las variables climáticas.

El crecimiento de *C. microchaete* en Makanaté está directamente influenciado por las condiciones climáticas durante la primavera. Las lluvias de primavera favorecen el crecimiento radial, en tanto que temperaturas por encima del valor medio durante las estaciones primavera–verano, están inversamente correlacionadas con el crecimiento. En Guarayos–LC, el crecimiento radial está más fuertemente relacionado con las condiciones de otoño–primavera durante la estación corriente del crecimiento, más la estación primaveral del año previo al crecimiento. Similar a Makanaté, en Guarayos–LC las temperaturas por encima del valor medio durante las estaciones otoño–primavera de la estación de crecimiento más otoño–primavera de la estación previa, están inversamente correlacionadas con el crecimiento.

Resulta difícil encontrar las causas de las diferencias observadas entre ambos rodales de Makanaté como el de Guarayos–LC. Es probable que dichas diferencias estén dadas en la calidad de sitio y este sea un factor determinante para el crecimiento de *C. microchaete*. En Makanaté las relaciones entre crecimiento y el clima son significativas durante solo dos meses de año (Julio a Septiembre; Fig. 6.14), en tanto que en Guarayos–LC se extiende a 4 meses (Abril, Mayo y Septiembre, Octubre Fig. 6.16). En los dos sitios la precipitación anual es similar, aunque en Makanaté, probablemente las constantes corrientes de vientos cálidos y secos provenientes de la Región Chiquitana tengan algún efecto sobre el crecimiento de *C. microchaete*. En dicho sitio, es posible que las primeras lluvias ocurridas en solo dos meses Octubre y Noviembre, inicio de la estación de crecimiento sea adecuada para permitir el inicio del crecimiento, aunque los próximos meses las precipitaciones sean mayores, no son tan importantes. Por el contrario, en Guarayos–LC los meses de Abril y Mayo, inicio de la estación de crecimiento y los meses de Septiembre y Octubre, al final de la estación de crecimiento, cuando las precipitaciones mensuales superan o vuelven al promedio de los 100 mm, la humedad del suelo es adecuada para permitir el inicio del crecimiento.

Sin embargo, el índice de humedad que resulta de una medida indirecta del déficit hídrico, explica la variación del crecimiento de *C. microchaete* para cada localidad de muestreo. Generalmente se observó que los sitios correspondientes al distrito de Guarayos están explicados por un alto porcentaje del crecimiento por la temperatura. En cambio en los sitios Chiquitanos en mayor porcentaje por la precipitación regional. Sin duda, esta relación existente entre el crecimiento y las variables climáticas regionales, serán la base para predecir los cambios actuales del bosque en función a los cambios ambientales presentes y futuros. Las diferencias en el crecimiento de *C. microchaete* observadas entre sitios puede estar asociada a diversos factores. Durante muchos siglos, desde la llegada de los misioneros jesuitas a la Chiquitania Boliviana, particularmente en aquellos bosques cercanos a los centros poblados, sólo tres especies: mara (*Swietenia macrophylla* King), cedro (*Cedrela fissilis*) y roble (*Amburana cearensis*) han sido explotadas selectivamente (Bolfor 1993). Estas explotaciones en combinación con el uso tradicional del fuego como una herramienta práctica para facilitar el establecimiento de áreas de cultivo, en la mayoría de los bosques de la provincia del Cerrado Boliviano, han aumentado la vulnerabilidad del bosque a incendios forestales (Kauffman & Uhl 1990, Steininger *et al.* 2001). Por ejemplo, los bosques de la localidad de

Guarayos–LC, desde hace varios siglos fueron enriquecidos por influencia humana, en los suelos se encontró *terra preta*, con abundantes fragmentos de cerámica, lo que indica que el uso del suelo fue intensivo (Paz-Rivera & Putz 2009). Este mismo sitio desde hace muchos años soporta severos incendios forestales, al extremo que en 1995 se quemó una tercera parte de cien mil hectáreas de bosque (López 2003). Algo similar ocurre con los otros sitios, particularmente en aquellos que tienen actualmente la categoría de manejo comunal forestal (Zapocó, Santa Anita y Makanaté) el manejo forestal es una combinación entre la agricultura, la ganadería, aunque en Guarayos–LC, Concepción y Santa Mónica, solo están limitados a la explotación maderable por la certificación del bosque que poseen. Sin embargo ambos bosques están sometidos a diferentes alteraciones antrópicas e incendios forestales, lo que ha convertido en bosques muy sensibles, con reacción y adaptación diferentes (Clark 2007). En las 6 cronologías desarrolladas con *C. microchaete* observamos una clara dependencia del crecimiento de los árboles de las variaciones climáticas, surgiendo que el cambio climático en el futuro podría influir en el crecimiento de los árboles de esta especie durante el siglo 21. Sin embargo, las inferencias acerca de la naturaleza de estos efectos se complican por diversos factores relacionados tanto con los cambios climáticos proyectados como así también de las relaciones climáticas con el crecimiento de los árboles (Clark 2007). Dependiendo de los escenarios de emisión, se prevé para el Chiquitano un aumento de 3–4.5°C en la temperatura media anual lo largo del siglo XXI (Urrutia & Vuille 2009). Las proyecciones de los cambios en las precipitaciones son más variables en el espacio y mucho menos coherentes. Los diferentes modelos climáticos simulan aumentos de la precipitación en verano entre 120 y 240 mm (Urrutia & Vuille 2009). Sobre la base de las relaciones del crecimiento de los árboles de *C. microchaete* con el clima desarrollado en este trabajo, se podría inferir un posible aumento del crecimiento radial en respuesta a la precipitación más abundante, pero estos crecimientos mayores podrían ser atenuados por el efecto indirecto de las altas temperaturas y el aumento de la evapotranspiración. El impacto de otros factores adicionales más allá del clima es más difícil de evaluar y no pueden dejarse de lado en las estimaciones del crecimiento futuro de los árboles. Por ejemplo, las simulaciones del clima también muestran un aumento significativo en la variabilidad climática interanual, que en combinación con los efectos potenciales del aumento del CO<sub>2</sub> y el uso más eficiente del agua (Huang *et al.* 2007) aumentaría la incertidumbre en las predicciones de los cambios en el



crecimiento de *C. microchaete* resultante de las proyecciones del clima futuro. Por lo tanto, estudios más detallados de crecimiento de esta especie son necesarios antes de realizar predicciones adecuadas de los efectos que los futuros cambios climáticos pueden tener sobre el crecimiento de esta y otras especies de la Chiquitania. De acuerdo a Clark (2007), las respuestas de los bosques tropicales a los cambios ambientales en curso y futuros son complejas. Como el crecimiento de los árboles integra muchos factores simultáneamente y sus respuestas pueden mostrar importantes retrasos, o ser no lineales, el efecto específico del clima futuro sobre el crecimiento del árbol todavía sigue siendo difícil de cuantificar.

## 5. Referencias

- BLASING, T. J., A. M. SOLOMON, and D. N. DUVICK. 1984. Response functions revisited. *Tree-Ring Bulletin* 44: 1-15.
- BOLFOR. 1993. Bolivia sustainable forestry management project: Project Paper. USAID, La Paz, Bolivia.
- BONINSEGNA, J. A., J. ARGOLLO, J. C. ARAVENA, J. BARICHIVICH, D. CHRISTIE, M. E. FERRERO, A. LARA, C. LE QUESNE, B. H. LUCKMAN, M. MASIOKAS, M. MORALES, J. M. OLIVEIRA, F. ROIG, A. SRUR, and R. VILLALBA. 2009. Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 210-228.
- BRIENEN, R. J. W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. PROMAB Scientific Series 10: PROMAB-Riberalta, Bolivia.
- BRIFFA, K. R. 1995. Interpreting high-resolution proxy climate data: The example of dendroclimatology, 77-94. *In*: H. von Storch and A. Navarra (ed.). *Analysis of climate variability, applications of statistical techniques*, Springer, Heidelberg.
- BULTMAN, J. D., and C. R. SOUTH WELL. 1976. Natural resistance of tropical American wood to terrestrial wood-destroying organisms. *Biotropica* 8: 71- 95.
- CARLQUIST, S. 1988. Comparative wood anatomy, systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledonous wood. Springer-Verlag, New York.
- CHICHIGNOUD, M. 1990. Atlas de maderas tropicales de América Latina. OIMTCentre Technique Forestier Tropical Yokohama, Japan: 219.
- CLARK, D. A. 2007. Detecting tropical forests' responses to global climatic and atmospheric change: Current challenges and a way forward. *Biotropica* 39: 4-19.
- COOK, E. R., and K. PETERS. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45-53.
- COOK, R. E., and R. L. HOLMES. 1999. Users Manual for Program Arstan. Laboratory Of Tree-Ring Research, University Of Arizona Tucson, Arizona, USA.
- DÜNISCH, O., V. R. MONTOIA, and J. BAUCH. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees-Structure and Function* 17: 244-250.
- ECKSTEIN, D., J. ODGEN, G. C. JACOBY, and J. ASH. 1981. Age and growth rate determination in tropical trees: The application of dendrochronological methods. *En*: F.H. Bormann y G. Berlyn (eds.). *Age and growth rate of tropical trees; new directions for research* 83-106 Yale University, New Haven.
- FRITTS, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London.
- HOLMES, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- HUANG, J. G., Y. BERGERON, B. DENNELER, F. BERNINGER, and J. TARDIF. 2007. Response of forest trees to increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Crit. Rev. Plant Sci.* 26: 265-283.

- JARDIM, A., T. J. KILLEEN, and A. FUENTES. 2003. Guía de los Árboles y Arbustos del Bosque Seco Chiquitano Bolivia, Fundación para la conservación del Bosques Chiquitanos. (FCBC), FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: 324.
- JUSTINIANO, M. J., and T. FREDERICKSEN. 1998. Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas–Tarara Amarilla *Centrolobium microchaete*, (C. Martius ex Benth.) Lima ex G. P. Lewis, Papilionoideae. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- KAENNEL, M., and F. H. SCHWEINGRUBER. 1995. Multilingual glossary of dendrochronology. Terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian. Birmensdorf; Berne, Stuttgart, Vienna, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt 467.
- KAUFFMAN, J. B., and C. UHL. 1990. Interactions of anthropogenic activities, fire and rainforests in the Amazon Basin 117-134. *In*: J. G. Goldammer (ed.). Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges. Springer-Verlag, New York.
- KILLEEN, J. T., E. GARCIA, and G. S. BERCK. 1993. Guía de arboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. Quipus S.R.L., La Paz, Bolivia.
- LARA, A., and R. VILLALBA. 1993. A 3620-year temperature record from Fitzroya cupressoides tree rings in southern South America. *Science* 260: 1104-1106.
- LARA, A., R. VILLALBA, and R. URRUTIA. 2008. A 400-year tree-ring record of the Puelo River summer-fall streamflow in the Valdivian Rainforest eco-region, Chile. *Climatic Change* 86: 331-356.
- LÓPEZ, L. 2003. Estudio de anillos de crecimiento en once especies forestales de Santa Cruz–Bolivia. U. A. G. R. M., proyecto BOLFOR: 147.
- LÓPEZ, L., and R. VILLALBA. 2010. Climate Influences on the Radial Growth of *Centrolobium microchaete*, a Valuable Timber Species from the Tropical Dry Forests in Bolivia. *Biotropica* 43: 41-49.
- MOSTACEDO, B., M. J. JUSTINIANO, M. TOLEDO, and T. FREDERICKSEN. 2003. Guía Dendrológica de Especies Forestales en Bolivia. El país 2da edición. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- NAVARRO, G., and MALDONADO. 2004. Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes Acuáticos. Centro de Ecología Simón Patiño Santa Cruz, Bolivia: 3:101 - 155.
- PAZ-RIVERA, C., and F. E. PUTZ. 2009. Anthropogenic soils and tree distributions in a lowland forest in Bolivia. *Biotropica* doi: 10.1111/j.1744-7429.2009.00521.x.
- ROIG, F., M. FERNANDEZ, E. VARGAS, S. ALTAMIRANO, and S. MONGE. 2001. Estudios dendrocronológicos en los ambientes húmedos de la puna Boliviana. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 9: 3-13.
- RONCHAIL, J. 1995. Variabilidad interanual de las precipitaciones en Bolivia. *Bul. Inst. Fr. Etudes Andines* 24: 369–378.
- SOLÍZ, C., R. VILLALBA, J. ARGOLLO, M. S. MORALES, D. A. CHRISTIE, J. MOYA, and J. PACAJES. 2009. Spatio-temporal variations in *Polylepis tarapacana* radial growth across the Bolivian Altiplano during the 20th century. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 296-308.
- STEININGER, M. K., C. J. TUCKER, P. ERSTS, T. J. KILLEEN, Z. VILLEGAS, and S. B. HECHT. 2001. Clearance and fragmentation of tropical deciduous forest in the Tierras Bajas, Santa Cruz, Bolivia. *Conservation Biology* 15 (4): 127-134.
- URRUTIA, R., and M. VUILLE. 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Geophysical Research Letters* 114: D02108, doi 10.1029/2008JD011021.
- VILLALBA, R., J. A. BONINSEGNA, and A. RIPALTA. 1987. Climate, site conditions, and tree growth in subtropical northwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1527-1539.
- VILLALBA, R., H. R. GRAU, J. A. BONINSEGNA, G. C. JACOBY, and A. RIPALTA. 1998. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America. *International Journal of Climatology* 18: 1463-1478.
- VILLALBA, R., R. L. HOLMES, and J. A. BONINSEGNA. 1992. Spatial patterns of climate and tree growth variations in subtropical northwestern Argentina. *Journal of Biogeography* 19: 631-649.
- WIGLEY, T. M. L., K. R. BRIFFA, and P. D. JONES. 1984. On the value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201-213.
- WORBES, M. 1992. Occurrence of seasonal climate and tree-ring research in the tropics. *Lund Qua Report* 34: 338-342.
- WORBES, M., and W. JUNK. 1999. How old are tropical trees? The persistence of a myth. *IAWA* 20: 255-260.

## CAPÍTULO VII

---

### CONCLUSIONES GENERALES



#### Tabla de contenido

---

1.	Conclusiones generales .....	252
2.	Referencias .....	259

## Resumen

Este último Capítulo provee una evaluación general de los resultados logrados a la vez que se destacan las contribuciones más importantes de este estudio doctoral.

### 1. Conclusiones generales

A pesar de la idea generalizada de que los árboles tropicales tienen un crecimiento continuo, y que por lo tanto no forman anillos anuales de crecimiento, los resultados de este estudio demuestran que este concepto no es totalmente válido. En base a un inventario xilológico de las especies leñosas de valor comercial creciendo en la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano, fue posible establecer en muchas de ellas la presencia de bandas anuales de crecimiento. Sin embargo, la mayoría de las especies analizadas requieren un proceso de pulido muy prolijo de sus secciones transversales y un conocimiento previo del arreglo de los elementos del leño para determinar precisamente las bandas anuales de crecimiento.

Debido a que la dureza de las maderas de los bosques tropicales secos de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano impide el uso de barrenos de incremento para la toma de muestras leñosas, todos los muestreos realizados en este estudio fueron oportunistas, es decir en sitios donde se estaba aprovechando el bosque al momento de la toma de las muestras. Esto que pareciera ser una desventaja inicial, fue beneficioso ya que nos permitió contar con secciones transversales del fuste de los árboles que habían sido recientemente abatidos. En ellas, la delimitación de las bandas de crecimiento es más fácil que en muestras de barreno de 5 mm de espesor, donde el reducido campo visual hace más problemática la correcta apreciación de las bandas de crecimiento. Asimismo, el contar con secciones completas del fuste permite establecer más claramente la presencia de lentes de crecimiento, falsos anillos y/o anillos ausentes a través del prolijo seguimiento de las bandas en todo el perímetro del árbol.

Las observaciones realizadas en las secciones transversales, en casi todos los casos complementadas con cortes delgados examinados al microscopio, permitió visualizar el arreglo del plan leñoso relacionado con los anillos de crecimiento. Así, este análisis permitió establecer que en las especies *Anadenanthera colubrina*, *Cedrela fissilis*, *Centrolobium*



*microchaete*, *Copaifera chodatiana*, *Hymenaea courbaril*, *Machaerium scleroxylon* y *Platimiscium ulei*, los anillos de crecimiento están delimitados por una banda muy delgada de tejido parenquimático marginal situado al final de cada periodo de crecimiento. Por el contrario, en *Amburana cearensis*, *Cariniana ianeirensis* y *Ficus boliviana*, la delimitación de sus bandas de crecimiento está dada por un estrechamiento de las fibras presentando lúmenes más pequeños y paredes celulares más gruesas (tornando más oscuro el leño) al final de cada anillo de crecimiento. En otras especies como *Cedrela fissilis* y *Zeyheria tuberculosa*, los anillos de crecimiento están definidos por la combinación de bandas de parénquima inicial y vasos de mayor tamaño al inicio del anillo de crecimiento (porosidad semi-circular a circular). A diferencia de lo observado en las especies de bosques templados, la presencia de falsos anillos o lentes de crecimiento es común en especies de la Chiquitanía Boliviana. La presencia de falsos anillos es común en el leño de *Cariniana ianeirensis* y *Platimiscium ulei*, mientras que lentes de crecimiento fueron observadas en la mayoría de los individuos de *Copaifera chodatiana*, *Hymenaea courbaril*, *Machaerium scleroxylon* y *Zeyheria tuberculosa*. Estos tipos de crecimientos anómalos son observados desde los primeros años de crecimiento, mientras que los paquetes de anillos angostos se observan en árboles adultos, con grandes diámetros y en los sectores más próximos a la corteza. La presencia de estos patrones conlleva a la falta de uniformidad circular, o sea la pérdida de la proporción en el espesor de un anillo en relación a sus vecinos en toda la circunferencia del leño.

De todas las especies analizadas, *Centrolobium microchaete* es la que presenta las mejores características dendrocronológicas. En esta especie no se observaron falsos anillos y/o lentes de crecimiento. Las bandas de crecimiento fueron fechadas precisamente al año calendario de formación y se observa una fuerte señal común entre radios de un mismo árbol y entre árboles de un mismo rodal.

La precisión del fechado es difícil de establecer en aquellas especies con presencia de lentes de crecimientos y falsos anillos, que en el presente caso fueron la mayoría de las especies estudiadas. Con el objeto de precisar el fechado en estas especies y apoyados en la identificación del patrón anatómico característico asociado a la delimitación de los anillos, se identificaron los patrones anómalos de crecimiento (falsos anillos, anillos ausentes, lentes de crecimiento) en cada uno de al menos dos radios por sección transversal y se fueron fechando en forma comparativa y simultáneamente los diferentes radios para tratar de alcanzar el mismo

número de bandas en cada radio medido. Esta metodología fue posible de aplicar en *Amburana cearensis*, *Anadenanthera colubrina*, *Cedrela fissilis*, *Copaifera chodatiana*, *Ficus boliviana*, *Platimiscium ulei* y *Zeyheria tuberculosa*. Si bien el fechado podría no ser exacto en estas especies, asumimos que el error asociado, dado por la diferencia de bandas contabilizadas en dos radios de una misma sección transversal, no es mayor a  $\pm 3$  años en ejemplares de 100 años, con lo cual las estimaciones de crecimiento anual en estas especies pueden considerarse totalmente válidas. Inclusive, en algunos casos, los diferentes radios provenientes de una misma sección transversal fueron co-fechados, indicando que en algunos individuos, el fechado de sus anillos de crecimiento fue, muy probablemente, correcto al año de formación. En este grupo de especies, el análisis de dos o más radios por árbol apoyados en el patrón común de los árboles que co-fecharon, fue fundamental para proceder al fechado casi exacto del material analizado. En las tres especies restantes, *Cariniana ianeirensis*, *Hymenaea courbaril* y *Machaerium scleroxylon*, la presencia muy frecuente de lentes, falsos anillos, y paquetes de anillos angostos, nos lleva a asumir un error de  $\pm 6$  años en individuos de 100 años. Aún cuando en individuos de estas especies no fue posible encontrar patrones comunes de crecimiento entre radios diferentes (no co-fecharon), los fechados realizados de las bandas de crecimiento son suficientemente precisos para proveer una estimación válida de las tasas de crecimiento de estas tres especies. En base a los fechados realizados pudimos observar que todas las especies analizadas alcanzan edades superiores a los 98 años, aunque algunos ejemplares de *Centrolobium microchaete* superan los 180 años.

*En resumen, la demostración de la efectividad del uso de anillos de crecimiento, de naturaleza anual o cuasi-anual, en las especies tropicales del Cerrado Boliviano es uno de los aportes principales de esta tesis doctoral. Clásicamente se asumía la imposibilidad del uso de anillos de crecimiento en bosques tropicales para la determinación de las tasas de crecimiento u otros fines silvícolas o ecológicos. En su reemplazo se han venido utilizando datos de corto plazo derivados de parcelas permanentes.*

En todas las especies consideradas, las tasas de crecimiento están basadas en el promedio de las mediciones de los anillos en al menos dos radios por individuo. Las mediciones realizadas de los anchos de los anillos de crecimiento se convierten en una información práctica, eficiente y rápida para determinar el crecimiento diamétrico y sus variaciones en el tiempo.

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. Así por ejemplo, mientras los árboles de *Centrolobium microchaete* con rápido crecimiento necesitan en la localidad de Concepción entre 80 y 110 años de edad aproximadamente para alcanzar 40 cm de diámetro, los individuos de bajo crecimiento en el mismo rodal requieren entre 140 a 170 años para alcanzar el mismo diámetro. En general, observamos que las especies del distrito de Guarayos tienen tasas de crecimiento más altas que las del distrito Chiquitano. Es muy probable que estas diferencias estén relacionadas con las precipitaciones más abundantes en el distrito biogeográfico de Guarayos, una mejor calidad de los suelos, o regímenes de disturbios relacionados con el establecimiento y dinámica posterior de los bosques. Así, *Ficus boliviana*, especie característica del distrito de Guarayos, alcanza un incremento promedio de 1,06 cm/año (evaluado durante 98 años), mientras que en el distrito Chiquitano, *Zeyheria tuberculosa* solo alcanza incrementos medios de 0,32 cm/año (evaluado en un periodo de tiempo similar). Las tasas de crecimiento presentadas en el presente estudio son comparables y altamente consistentes a las obtenidas a través de los métodos tradicionales (parcelas permanentes) empleados para este fin. Por ello el método dendrocronológico se convierte en una alternativa eficiente y válida para obtener datos precisos sobre crecimientos diamétricos de los árboles del bosque tropical seco en Bolivia. A su vez, estos datos pueden ser rápidamente aplicados en la optimización del aprovechamiento en base a su capacidad productiva y con un alto enfoque de manejo netamente racional a largo plazo.

En base a la medición del ancho de los anillos de crecimiento se determinaron los incrementos corrientes y medios anuales en área basal (*ICABA* e *IMABA*, respectivamente), con los cuales se estimaron pautas de manejo basados en los óptimos crecimiento como los turnos biológicos de corte (TBC). Los valores medios del *ICABA* fueron ajustados a funciones matemáticas pre-establecidas como las de Weibull y Log-normal con la finalidad de reducir la variación de alta frecuencia de y ajustar a una media biológica. Los crecimientos basales de 9 de las 11 especies fueron mejor ajustados empleando la función Weibull, aún cuando en casi todos los casos los ajustes con Log-normal fueron también significativos, indicando que estas funciones pueden emplearse para modelar el crecimiento de los bosques tropicales secos del Cerrado Boliviano. Los TBC para todas las especies provenientes del distrito biogeográfico Chiquitano alcanzan

edades mayores a los 100 años. En cambio, algunas especies del distrito biogeográfico de Guarayos requieren alrededor de 60 años. El uso de los TBC estimados a partir de las variaciones interanuales en el crecimiento de los árboles es una indicación de que el aprovechamiento forestal ocurre en el momento en que se ha logrado la máxima producción leñosa. Proponer estos valores como el tiempo necesario para que las especies alcancen sus máximos crecimientos, favorecería al manejo forestal en diversos aspectos tanto ecológicos como silviculturales.

*En resumen, considerando que el Cerrado Boliviano es una región con escasísima información sobre la ecología de los bosques, la presente tesis constituye un valioso aporte para una más adecuada comprensión de los procesos naturales de crecimiento de las especies arbóreas, sus consecuencias y recomendaciones para esquemas de manejo sostenible.*

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 ciclos de corta y el establecimiento de diámetros mínimos de corta (Schöngart 2008). Estos nuevos criterios de manejo de masas tropicales hacen un fuerte hincapié en las distintas tasas de crecimiento de las diferentes especies que conforman un mismo rodal. Así, los nuevos criterios de manejo sustentable de los recursos forestales tropicales están basados en criterios especie-específicos (sensu Schöngart, 2008), donde se recomienda tener en cuenta los ritmos de crecimiento de cada especie en particular, además de considerar los criterios de ciclos de corte y diámetros mínimos de corte. La propuesta GOL (Growth-Oriented Logging) de Schöngart (2008) establece que la producción óptima de un árbol ocurre entre el punto de mayor incremento corriente en área basal ( $ICABA_{max}$ ) y el del mayor incremento medio en área basal ( $IMABA_{max}$ ). Este periodo, ha sido definido como el intervalo preferente para la cosecha forestal (Schöngart 2003). La aplicación de esta metodología a nuestros sitios de estudios produce resultados consistentes con los turnos biológicos TBC establecidos por métodos tradicionales (Capítulo 4). La Tabla 7.1 compara las pautas manejo (tiempos de corte y diámetros de corte) establecidos por la Ley Forestal 1700, con los 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 25 años después de la primera cosecha forestal son mucho menores a los establecidos por



la ley forestal. Asimismo, la aplicación del método GOL para la determinación de los ciclos de corte, basado en incrementos de 25 cm entre cosechas, 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 en base a los incrementos reales en el crecimiento de las especies forestales del Cerrado Boliviano

Tabla 7.1. Comparación entre las pautas de manejo establecidas por la Ley Forestal de Bolivia y las resultantes de los estudios realizados en este trabajo. Dap esp., es el diámetro esperado.

Especies en estudio	MDSMA 1997 (Ley forestal 1700)		Nuestros resultados En base a los ICA real		GOL (Growth-Oriented Logging)			
	DMCCC	ICA cm	Dap. esp.	ICA (cm)	Dap. esp.	CC 10 cm	CC 25 cm	
<i>Amburana cearensis</i>	40	25	1	65	0,52	53	17,73	44,3
<i>A. colubrina</i>	40	25	1	65	0,36	49	20,30	50,7
<i>Cariniana ianeirensis</i>	50	25	1	75	0,44	61	15,98	39,9
<i>Cedrela fissilis</i>	40	25	1	65	0,31	47,7	17,68	44,2
<i>Copaifera chodatiana</i>	40	25	1	65	0,34	48,5	28,08	70,2
<i>Ficus boliviana</i>	50	25	1	75	0,41	60,25	8,42	21
<i>Hymenaea courbaril</i>	50	25	1	75	0,31	57,7	12,28	30,7
<i>M. scleroxylon</i>	40	25	1	65	0,52	53	27,77	69,2
<i>Platimiscium ulei</i>	40	25	1	65	0,36	49	22,61	56,5
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	40	25	1	65	0,44	51	28,65	71,6

Estos resultados son consistentes con la mayoría de los estudios que sostienen que los actuales ciclos de corte en bosques disetáneos tropicales deberían ser mayores que los actualmente propuestos por Ley 20–25 años (MDSP 1998). Según estos estudios, los ciclos de corte de tiempos cortos no garantizan la producción sostenible de madera, ni la recuperación del bosque (Brienen 2005, Brienen & Zuidema 2005, Dauber *et al.* 2005, Brienen *et al.* 2006). 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 calidad 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 resumen, los resultados de este trabajo doctoral resultan muy valiosos en la puesta a prueba de la validez biológica de la vigente Ley Forestal Boliviana que impone 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 y de una misma especie en diferentes sitios de crecimiento.

Seis cronologías de ancho de anillos fueron desarrolladas a partir de *Centrolobium microchaete*. En general, estas cronologías muestran un alto porcentaje de señal común del crecimiento entre los árboles de un mismo rodal. Los estadísticos comúnmente empleados en dendrocronología para caracterizar la calidad de las cronologías indican que los nuevos registros de *C. microchaete* son de buena calidad, comparables a la mayoría de los registros desarrollados para América del Sur. Una comparación entre las cronologías muestra mayor similitud entre sitios geográficamente cercanos, aún cuando se localicen en distritos biogeográficos diferentes. Si bien las cronologías desarrolladas solo cubren los últimos 180 años, la incorporación de ejemplares más longevos permitirá extender estos registros en el tiempo. Estas cronologías representan los primeros registros dendrocronológicos bien replicados y consistentemente fechados para la cuenca Amazónica y por ello constituye uno de los logros más importantes en el campo de la Dendrocronología tropical.

La comparación entre los índices de crecimiento de *C. microchaete* y las variables climáticas regionales indican que las variaciones interanuales en el crecimiento están fuertemente influenciado por las condiciones climáticas durante la primavera y el verano. En algunas localidades del bosque Chiquitano, se ha observado que las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento previa a la formación del anillo también actúan influyendo el crecimiento. La influencia de las condiciones climáticas durante el verano previo a la formación del anillo de crecimiento ha sido reportada para numerosas especies en América del Sur (Boninsegna *et al.* 2009). Particularmente las lluvias estivales favorecen el crecimiento radial, en tanto que las altas temperaturas de primavera y verano, que actúan reduciendo el agua disponible para el crecimiento, están inversamente correlacionadas con el crecimiento. Por ello, el índice de humedad (Villalba & Veblen 1998), una medida indirecta del déficit hídrico a través de la combinación de las variaciones de la precipitación y la temperatura, es aún un mejor predictor de las variaciones interanuales del crecimiento de *C. microchaete* que la temperatura o la precipitación en forma independiente. Nuestros resultados indican que en los sitios húmedos correspondientes al distrito de Guarayos, las variaciones de la temperatura alcanzan a tener una influencia comparable a la de la precipitación sobre el crecimiento diamétrico. Por el contrario, en los sitios Chiquitanos, el crecimiento está fuertemente

regulado por las variaciones en la precipitación regional. Estos resultados, que evidencian una fuerte conexión entre el crecimiento de los árboles en la Chiquitanía y el clima regional, son relevantes en el contexto del Cambio Climático predicho para el siglo XXI ya proveen, en conjunto con otros estudios, bases para establecer estimaciones de los cambios esperados en el crecimiento del bosque en el futuro.

*En resumen, la identificación de una especie tropical de gran potencial para estudios dendroclimáticos como lo es la tarara (*C. microchaete*) constituye otro de los aportes significativos de este trabajo doctoral. La especie aparenta tener una buena señal a la precipitación del verano por lo que su integración dentro de la red de reconstrucciones existentes permitirá llenar al menos parcialmente regiones para las cuales los datos climáticos pre-instrumentales son prácticamente inexistentes. Dicha información será clave para confirmar o modificar tendencias climáticas regionales (por ejemplo aumentos multi-decádicos en las precipitaciones) que han sido documentadas con especies de latitudes subtropicales.*

## Referencias

- BONINSEGNA, J. A., J. ARGOLLO, J. C. ARAVENA, J. BARICHIVICH, D. CHRISTIE, M. E. FERRERO, A. LARA, C. LE QUESNE, B. H. LUCKMAN, M. MASIOKAS, M. MORALES, J. M. OLIVEIRA, F. ROIG, A. SRUR, and R. VILLALBA. 2009. Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 210-228.
- BRIENEN, R. J. W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. PROMAB Scientific Series 10: PROMAB-Riberalta, Bolivia.
- BRIENEN, R. J. W., and P. A. ZUIDEMA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146: 1-12.
- BRIENEN, R. J. W., P. A. ZUIDEMA, and H. J. DURING. 2006. Autocorrelated growth of tropical forest trees: unraveling patterns and quantifying consequences. *Forest Ecology and Management* 237: 179-190.
- DAUBER, E., T. S. FREDERICKSEN, and M. PEÑA. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294-304.
- 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. La Paz.
- SCHÖNGART, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* 256: 46-58.
- SCHÖNGART, J. 2003. Dendrochronologische Untersuchungen in Überschwemmungswäldern der várzea Zentralamazoniens. Tesis de doctorado, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Universität Göttingen, Göttingen: 223.
- VILLALBA, R., and T. T. VEBLEN. 1998. Influences of large-scale climatic variability on episodic tree mortality in northern Patagonia. *Ecology* 79: 2624-2640.