



Universidad de Valladolid

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS
AGRARIAS**

Instituto Universitario De Investigación Gestión Forestal Sostenible
Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales

**DINÁMICA TEMPORAL DEL CRECIMIENTO Y DIOECIA DE *Araucaria
angustifolia* EN RODALES IMPLANTADOS EN EL SUBTRÓPICO DE
ARGENTINA: UNA APROXIMACIÓN DENDROCRONOLÓGICA**

Presentado por

Ronald Alfonso Montañez Valencia como requisito parcial para optar
al título de Máster

De Investigación en Ingeniería para la Conservación y Uso Sostenible
de Sistemas Forestales

Directores:

Dra. Stella Marys Bogino

Dr. Felipe Bravo Oviedo

Palencia, España. Julio de 2013

*Con respeto y admiración, por insistir en educar a tus hijos, solo a
ti, mi querida mamá Olga má.*

Dinámica temporal del crecimiento y dioecia de *Araucaria angustifolia* en rodales implantados en el subtropico de Argentina: una aproximación dendrocronológica

Resumen

La araucaria o pino Paraná, (*Araucaria angustifolia* (Bertoloni) O. Kuntze), es una especie dioica que domina los bosques de araucaria de Brasil y Argentina en Sudamérica. El estado de conservación crítico de la especie, afectada también por un incremento medio de la temperatura dentro del contexto del cambio climático global, hace imprescindible profundizar los conocimientos acerca de la dinámica y de las relaciones entre su crecimiento y el clima para, de esta manera, establecer programas de conservación más adecuados. En el presente trabajo se analizaron los anillos de crecimiento de *A. angustifolia* para dar respuesta a los siguientes objetivos: a) Describir el potencial dendrocronológico de *A. angustifolia*; b) Estimar la variación temporal en el crecimiento radial de *A. angustifolia* en bosques implantados al noreste de Argentina; c) Analizar los efectos de dioecia y sitio en el crecimiento secundario de *A. angustifolia* y d) Relacionar la señal dendrocronológica de *A. angustifolia* con la variación climática. Se establecieron tres sitios de muestreo en la provincia de Misiones, Argentina, denominados Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen. Se aplicaron técnicas dendrocronológicas estándares para datar 20, 45 y 16 individuos, respectivamente, discriminados por sexos. Se midió el ancho de los anillos sobre dos series por individuo. Las series temporales obtenidas mostraron edades de plantación de 58, 59 y 38 años en el orden mencionado. Se obtuvieron curvas de crecimiento radial que evidenciaron un crecimiento máximo en el décimo año, siendo Colonia Mado el rodal con mayor crecimiento radial anual promedio ($6,26 \pm 3,62$ mm). El modelo lineal mixto presentó diferencias significativas ($p < 0,001$) entre sitio y parámetros (modelo Gompertz), con valores máximos de crecimiento significativos ($p < 0,05$). La dioecia no fue estadísticamente significativa sobre el crecimiento medio. La precipitación fue significativa sobre el crecimiento ($p < 0,05$), en julio y agosto previos al crecimiento para Colonia Mado y San Antonio, respectivamente. Finalmente, estos resultados permiten sugerir modelos explicativos, agregando variables de tipo climático y silvicultural en aras de obtener nuevas herramientas de manejo en rodales implantados.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, bosque subtropical, modelo de Gompertz, pino Paraná; Dendroclimatología

Summary

The araucaria or pino Paraná (*Araucaria angustifolia* (Bertoloni) O. Kuntze) is a dioecious species that dominates Araucaria forests of Brazil and Argentina in South America. Given the critical conservation status of the species, also affected by an average increase in temperature within the context of global climate change, it is rather essential to broaden and deepen the scientific knowledge of the dynamics and relationships between growth and climate. Thus, set more appropriate conservation programs. In this paper, it is analyzed growth rings of *Araucaria angustifolia*, in order to describe the Dendrochronologia potential of

A. angustifolia, estimate the variation in radial growth of *A. angustifolia* planted forests in northeastern Argentina, analyze the effects of dioecy and secondary radial growth of *A. angustifolia*, and relate dendrochronology signal of *A. angustifolia* to climate variation. Three sampling sites were established in the province of Misiones, Argentina: as Mado Cologne, San Antonio and Bernardo de Irigoyen. Standard Dendrochronologia tests were applied to date 20, 45 and 16 individuals respectively, discriminated by sex. Ring width measurement were done on two series per individual. The series obtained showed planting ages of 58, 59 and 38 years in the order listed. Using Dendrochronologia analysis techniques were obtained radial growth curves that showed maximum growth in the tenth year, showing the stand of Colonia Mado as the highest average annual radial growth (6.26 ± 3.62 mm). The mixed linear model showed significant differences ($p < 0.001$) between site and parameters (Gompertz model), with maximum values of significant growth ($p < 0.05$). The dioecy was not statistically significant in comparison to the average growth. In July and August, the precipitation was significant in comparison to the growth ($p < 0.05$) prior to the growth of Mado Cologne and San Antonio respectively. Finally, these results suggest explanatory models, adding silvicultural and climate variables in the interest of acquiring new management tools in implanted stands.

Keywords: Dendroclimatology, Growth rings, Gompertz model, pino Paraná, Subtropical forest.

ANTECEDENTES

La región subtropical húmeda Suramericana posee un clima sin estación seca con precipitaciones entre 1500 a 2000 mm distribuidas a lo largo del año, y una temperatura media anual de 25 °C (Peel et al., 2007). Esta región contiene, en el noreste de Argentina, a la selva misionera, clasificada como bosque siempre verde de amplia riqueza vegetal asociada a familias de latifoliadas como: Lauraceae, Meliaceae, Boraginaceae y Bignoniaceae (Cabrera, 1976). Estos bosques poseen fracciones de selvas mixtas, pinares de repoblación y tierras de campos, los cuales son dominados por bosques diseminados de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze establecidos entre campos abiertos de pastizales y arbustos alterados por el fuego y el pastoreo (Tortorelli, 1956; Oliveira et al., 2010).

A. angustifolia (*Pino paraná* o *Curiy*), es la única especie de la familia Araucariaceae en la selva misionera (Tortorelli, 1956) (Anexo I). Es una especie longeva, dioica, anemófila, cuyas estructuras en flores masculinas (amentos) florecen en septiembre y octubre, polinizando estróbilos de tipo solitario y axilar, los cuales conforman el cono o piña que tarda entre 20 y 36 meses en madurar, cosechados entre marzo y abril del año siguiente (Carvalho, 1994; Souza, 2000). Por otra parte Klein (1960) catalogó *A. angustifolia* como una especie pionera heliófila, argumento opuesto al descrito por Soares (1979), al afirmar que su regeneración depende de perturbaciones tales como el fuego (citados por Souza, 2007). Esta especie logra alcanzar alturas entre 35 y 50 m, y diámetros superiores a los 200 cm. Posee un fuste recto, con turnos de claras o raleos entre 7 y 15 años a partir de diámetros de 18 cm, y turno final de corta para aserrío a los 30 años, además registra en un incremento medio anual (IMA) referente de 20m³/ha/año (Voltolini, 2000; Sparnochia, 2009).

La distribución natural de *A. angustifolia* ha mermado en los últimos dos siglos debido a su explotación desordenada, a la carencia de aplicar determinados manejos silvícolas y, más recientemente, por el efecto de otras acciones antrópicas como la expansión de la frontera agrícola, la deforestación y la degradación (Zanon, 2007). Dichos bosques abarcan, en la actualidad, una superficie de 17.760.000 ha en el sur de Brasil (Leite and Klein, 1990; Giraudo et al., 2003), y cerca de 1.000 ha en el noreste de Argentina (Sparnochia, 2009), distribuidos en altitud entre los 400 m y los 1800 m (Carvalho, 2003), aunque se reportan bosques a los 50 m snm (Silveira Wrege et al., 2009).

La reducción del área de *A. angustifolia* ha sido la razón para incluir dicho taxón en la lista roja de especies amenazadas, considerada en “peligro crítico” por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en Ingles) (Farjon, 2006) y en grave merma del fondo de genes según el informe de la segunda reunión del Cuadro de Expertos en Recursos Genéticos Forestales (FAO, 1973). *A. angustifolia* es una

especie protegida por la legislación tanto en Brasil (Bittencourt, 2007), como en Argentina (Ley 26331 de presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos en Argentina, 2009).

A. angustifolia es una especie sensible a los cambios climáticos y a su entorno ecológico, los cuales son registrados en los anillos de crecimiento, que al emplear técnicas de dendrocronología, permiten interpretar la señal ambiental contenida en ellos (Oliveira et al., 2009; Cattaneo et al., 2013). La dendrocronología es una herramienta capaz de reconstruir, con resolución anual, eventos tales como: la variación del clima, los incendios, las inundaciones y la dinámica en diversos biomas, y relacionar dichos sucesos a nivel temporal y espacial (Villalba et al., 1998; Grau et al., 2003; Speer, 2010). En ningún otro ámbito la dendrocronología ha despertado más controversia que en los bosques tropicales y subtropicales donde, aun erróneamente, se habla de la falta de anillos de crecimiento para las especies que viven en esos ambientes. Sin embargo, esta herramienta ha sido aplicada exitosamente en ambientes subtropicales, ejemplo de ello son descritos para las especies más abundantes del dominio ecológico de *A. angustifolia*, como: *Amburana cearensis* (Allemão), *Cedrela fissilis* Vell, *Cedrelinga catenaeformis* (Duke) y *Centrolobium microchaete* (Benth.) H.C.Lima logrando estimar: la edad, la variación del crecimiento secundario y la productividad relativa tanto de las especies como de los sitios (Boninsegna et al., 1989; Worbes 2002; López et al., 2013).

A través de métodos de dendrocronología se analizaron en el sur de la selva amazónica, en la provincia de Misiones (Argentina), árboles de *C. fissilis*. Llegando a determinar edades entre 60 y 200 años e incrementos radiales anuales medio y corriente, de 24 cm hacia los 70 años (Boninsegna et al., 1989), así mismo, en el bosque húmedo tropical boliviano Brienen y Zudeima (2005), describen para seis especies de dosel la variación en amplitud de anillos y su relación con eventos de precipitación de forma intra anual, donde *A. cearensis* y *C. catenaeformis* presentaron diferencias significativas al iniciar la época de lluvias; otro caso es, el expuesto por López et al. (2013) quienes encontraron diferencias significativas de crecimiento radial entre sitios del Cerrado boliviano, para *C. microchaete*. Por otra parte, la variación del crecimiento a lo largo del tiempo, ha sido explicada a través de funciones y ajustes tales como: alométrica, Gompertz (1932), von Bertalanffy (1938), que permiten representar la evolución del tamaño, ya sea de individuos o masas forestales a través de la curva *sigmoide* para diferentes especies, por ejemplo: *Prioria copaifera* Griseb, (Giraldo and Del Valle 2011); *Albizia niopoides* (Spruce ex Benth.) Burkart (Giraldo and Del Valle 2012). Por más complejos que sean los sistemas forestales como rodales mixtos o cohortes disetáneas o proyecciones de corto plazo, los modelos por árbol individual proveen mayor detalle en la descripción en la estructura y dinámica del rodal (Bravo et al., 2012).

Estudios desarrollados sobre *A. angustifolia* por Lisi et al. (2001) y Oliveira et al. (2009), describen la formación de anillos, entre los meses de octubre y mayo, que fueron datados con alta precisión (Seitz and Kanninen, 1989; Oliveira et al., 2010).

En *A. angustifolia*, se han elaborado modelos de crecimiento en función de la edad, a partir del potencial dendrocronológico, con altos valores de correlación media entre individuos que poseen sincronismo anual en crecimiento, para el sur de Brasil (Seitz and Kanninen 1989; Tomazello et al., 2000; Oliveira et al., 2009). Hess (2006), evaluó nueve tipos de funciones para *A. angustifolia*, obteniendo el mejor ajuste en el modelo Gram (1880) encontrando un máximo crecimiento del diámetro a la altura del pecho a los 60 años e incrementos máximos anuales y medios a los 33 años en la sierra del sudeste brasilero. Otro trabajo realizado por Gotz (1992), considera un valor del crecimiento promedio en 16 m³/ha/año, con producciones totales de 480 m³/ha entre claras cada cinco años y 200 m³/ha en la tala rasa.

El proceso de diferenciación sexual vegetativa en plantas dioicas puede ser por efectos de reproducción o balance de recursos disponibles en el medio (Nicotra, 1999). Las diferencias en el factor de dioecia pueden tener significancia en posteriores procesos de reproducción y/o el crecimiento, los individuos femeninos en plantas dioicas tienden a asignar mayor cantidad de recursos a la reproducción que al proceso de crecimiento (Rozas et al., 2008). Además la existencia de sesgo espacial entre individuos dioicos en diferentes escenarios de ocupación, sugieren fenómenos de competencia, en particular para *Ilex aquifolium* L. mostró mayor inversión de recursos que los individuos masculinos en la reproducción, incidiendo en mayor tamaño (Obeso y Retuerto 2002). En el contexto dendrocronológico, determinadas especies varían su respuesta de crecimiento en función de las condiciones climática, al ser analizadas con anillos de crecimiento, de esta manera *Juniperus thurifera* L. presenta un crecimiento radial significativo en los meses de junio y julio en respuesta a la precipitación. Otras coníferas (*Juniperus communis* L. y *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm. Bizzarri) no diferencian sus crecimientos en relación al sexo (Rozas et al., 2008).

Las variaciones climáticas en temperatura y precipitación han influido en la distribución de esta especie (Móseno and Dillenburg, 2004; Hess, 2006; Zanon and Finger, 2010), y más aún por causa del incremento de la temperatura media debido al cambio climático, producto de su vulnerabilidad al déficit hídrico y a las altas temperaturas (Silveira-Wrege et al. 2009). Mientras que Dünisch (2005), estimó que la variación en crecimiento está asociada con la temperatura y no con la variable de precipitación para *C. fissilis* en el estado de Paraná (Brasil), Oliveira et al. (2009), encontraron patrones de crecimiento similar entre dos poblaciones de esta especie, distantes 100 km entre sí en la meseta alta al sur de Brasil, y

destacando a la temperatura como variable climática positiva para el crecimiento en los meses de la estación de crecimiento. En contraste, Cattaneo et al. (2013) concluyen que el factor incidente en el crecimiento radial es la precipitación, afectando de manera positiva a los individuos masculinos en el inicio de la temporada de lluvias en el mes de agosto en Misiones, Argentina.

Finalmente, el efecto de la temperatura media sobre los cambios de densidad en la madera, sólo se evidencian en los meses de agosto y marzo para los individuos masculinos, mientras que en las hembras, las temperaturas medias, no ejercen ningún impacto significativo para ninguno de los meses (Worbes, 2002). Sin dejar de mencionar que la observación y marcaje de los anillos de *A. angustifolia*, presenta limitaciones o anomalías, siendo evidentes las fluctuaciones o cambios de densidad intra-anales, y anillos comprimidos que conllevan a formar anillos ausentes y lentes, influenciados por variaciones climáticas sin diferencias significativas al analizar dichos problemas por dioecia (Vergarechea, 2012), Además se reporta la inusual amplitud de anillos en *A. angustifolia* comparados dentro y entre individuos, llegando a medir hasta 20 mm durante los primeros 3 años (Tortorelli, 1956).

Considerando que: a) *A. angustifolia* es una especie incluida en la lista roja de las especies amenazadas b) que es sensible a los cambios ambientales, fundamentalmente al clima, c) que posee una notable importancia ecológica y económica en su área natural d) que por ser una especie dioica ofrece mucho interés para los estudios de demandas reproductivas y e) que es una especie dioica y f) que su área de distribución natural está fuertemente afectada por cambios antrópicos, fundamentalmente cambios en el uso del suelo. En función de estos antecedentes establecemos la siguiente hipótesis: la variación del crecimiento temporal secundario de *A. angustifolia* responde a una señal común regional por efecto de la variación climática y la dioecia puede tener un efecto diferencial significativo entre los individuos masculinos y femeninos.

OBJETIVOS

General

Estimar la relación temporal entre el crecimiento radial de la especie *Araucaria angustifolia* de acuerdo con el sexo y el clima en tres bosques plantados en el límite oeste de su distribución mundial.

Específicos

- Describir el potencial dendrocronológico de *A. angustifolia* como herramienta válida para la reconstrucción del crecimiento radial medio anual en el extremo oeste de su distribución mundial.
- Estimar la variación temporal en crecimiento radial de *A. angustifolia*, para bosques plantados en la provincia de Misiones, Argentina.
- Analizar los efectos de dioecia y sitio en el crecimiento radial de *A. angustifolia* en la provincia de Misiones, Argentina.
- Relacionar la señal dendrocronológica de *A. angustifolia* con la variación climática.

Materiales y métodos

Área de estudio

La información empleada en el conteo y medición de anillos de crecimiento en *Araucaria angustifolia*, proviene de tres plantaciones forestales localizadas en la provincia de Misiones al noreste de Argentina. Los sitios de muestreo son: 1. Colonia Mado (MA), 2. San Antonio (SA) y 3. Bernardo de Irigoyen (BI) (Figura 1) (Anexo I).

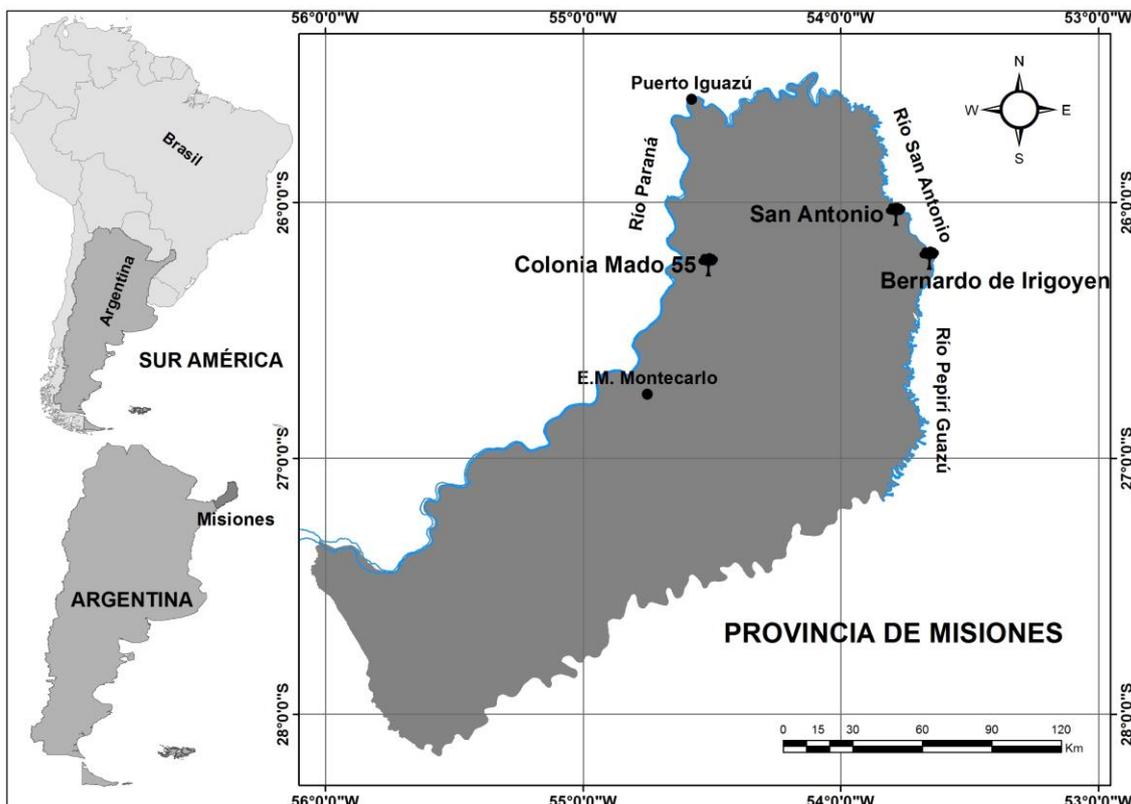


Figura 1. Sitios de estudio para *Araucaria angustifolia* en la provincia de Misiones, Argentina. Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen. E.M Estación meteorológica Montecarlo. Fuente: SIG-250 Instituto Geográfico Nacional.

1. Colonia Mado, (26°14'39,17"S; 54°30'51,70"O), se localiza entre los relieves pediplano parcialmente disectado y montañoso fuertemente disectado, con pendientes medias y gradientes entre 3 a 8 %, ubicado a 254 msnm. Presenta una precipitación media anual de 1.640 mm y temperatura media anual de 24,4°C (Figura 2a) (Hijmans et al., 2004; Hijmans et al., 2005). Los suelos pertenecen al orden Ultisoles (*Soil taxonomy, s.f*), dentro de la unidad cartográfica *rhodic kandiudults* (UTrd-5), y se caracterizan por tener: profundidad superior a 250 cm, textura arcillosa, buen drenaje, además cuentan con menos del 50% de saturación con bases, muy fuertemente ácido y valores de aluminio intercambiable que superan los 2 cmol+/kg suelo, materia orgánica del 2 al 4% y coloración de rojo a rojo oscuro con erosión actual hídrica moderada (Ligier et al., 1990).

El rodal consta de 300 ha manejado con principios silviculturales básicos, buscando un propósito comercial si se compara con los otros dos sitios.

2. San Antonio (Campo Anexo Manuel Belgrano), propiedad del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), (26°02'48,7"S y 53°47'14,3"O). Según Ligier et al. (1990) describen este sitio dentro del relieve fuertemente ondulado a colinado, con pendientes medias a cortas y gradientes hasta del 20%, sobre 515 msnm. Registra una precipitación promedio anual de 1900 mm y temperatura media anual de 23,0°C (Figura 2b) (Hijmans et al., 2004; Hijmans et al., 2005). Este sitio muestra suelos clasificados en el orden Ultisoles (*Soil taxonomy, s.f*), asignado a la unidad cartográfica *rhodic kandiudults* UTrd-6, con profundidad de 250 cm, suelos ácidos lateríticos rojos, de textura fina y hematitas (óxido de hierro) (SAyDS, 2007). Además, poseen baja cantidad de nutrientes y presentan buenas condiciones físicas para el crecimiento de las raíces.

Por otra parte, la asociación vegetal que se reporta para San Antonio posee la siguiente dominancia: *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb. *Ocotea suaveolens* Hassl. *Nectandra salicina* Allen. *Apuleia leipocarpa* (Vogel) Macbride. *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. *Ocotea puberula* (Roch.) Ness. *C. fissilis* y helechos arborescentes. La superficie total del sitio de muestreo es de 400 ha y al igual que Colonia Mado, presenta raleos por lo bajo.

3. Bernardo de Irigoyen, (26°13'11.05"S y 53°39'28.60"O) y se localiza en las estribaciones de la meseta central y el relieve fuertemente ondulado a colinado, con pendientes cortas y medias del 8 al 15%, a 742 msnm. La precipitación promedio anual es de 1.960mm y temperatura media anual de 22,7°C (Figura 2c) (Hijmans et al., 2004; Hijmans et al., 2005). Los suelos de Bernardo de Irigoyen son descritos para el orden Ultisoles (*Soil taxonomy, s.f*) dentro de la unidad cartográfica *typic kandiudults* (UTtc-1), variando su coloración respecto a los dos sitios anteriores, siendo ésta de color pardo a rojizo oscuro en

superficie y pardo amarillento, la profundidad oscila entre 150 y 250 cm, así mismo se detallan propiedades como: buen drenaje, textura moderada a fuerte, muy fuertemente ácidos con susceptibilidad a la erosión hídrica entre moderada a severa y tienen menos del 35% de saturación de bases (Ligier et al., 1990). En el contexto silvícola conviene aclarar la ausencia de manejos ordenados, con cinco raleos por lo alto, ejecutados sin control alguno en tiempo y espacio, para una superficie de 10 ha.

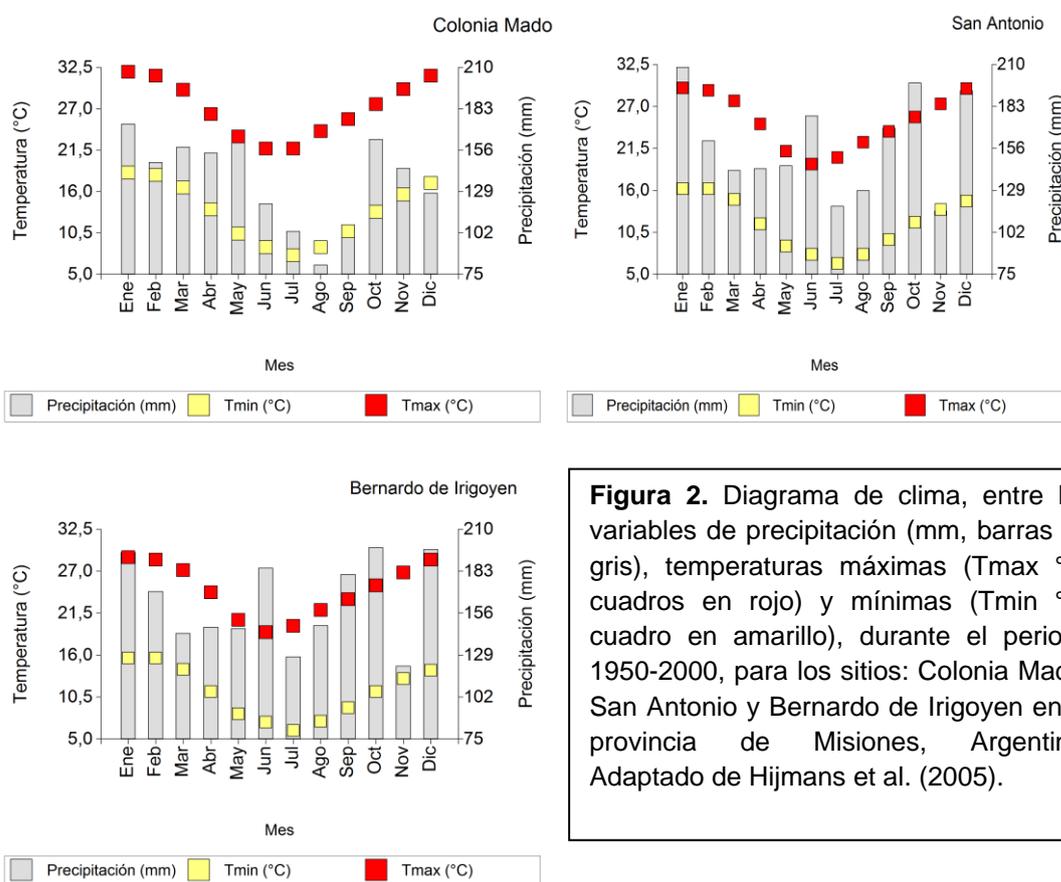


Figura 2. Diagrama de clima, entre las variables de precipitación (mm, barras en gris), temperaturas máximas (Tmax °C, cuadros en rojo) y mínimas (Tmin °C, cuadro en amarillo), durante el periodo 1950-2000, para los sitios: Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen en la provincia de Misiones, Argentina. Adaptado de Hijmans et al. (2005).

Muestreo de campo: Los individuos de *A. angustifolia* fueron identificados y discriminados por el criterio de dioecia, a través de recorridos y la observación directa de conos masculinos (amentos) y femeninos (estróbilos), seguido del proceso de apeo para obtención de una sección transversal (rodaja) localizada en la base del tocón. El número de muestras totales obtenidas para los sitios Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen fueron 20, 45 y 16, respectivamente.

Se tomaron datos dasométricos de la manera siguiente: se establecieron dos parcelas temporales de forma rectangular para Colonia Mado y Bernardo de Irigoyen, con dimensiones de 10 x 50 m cada una, registrando diámetro a la altura del pecho (dap) en el total de los individuos y estimando la altura dominante al 60% de los individuos registrados en Colonia Mado, la altura dominante en Bernardo de Irigoyen se obtuvo por comunicación personal, del propietario del predio. El registro dasométrico en San Antonio proviene de

parcelas circulares con superficie de 500 m², obteniendo el dap y la altura dominante de los tres árboles más cercanos al centro de la parcela, utilizando para ello el hipsómetro electrónico Vertex (Goya et al., 2012).

Análisis de laboratorio: Cada rodaja fue lijada empleando láminas de grano disminuido (60 a 600), permitiendo diferenciar anillos que a su vez se marcaron por cada sección transversal o rodaja sobre dos ejes trazados perpendicularmente entre ellos. Aplicando la metodología descrita por Stokes and Smiley (1968), se empleó una lupa estereoscópica, marca Olympus, modelo SZ61 (0,9 a 4X) con precisión 0.001mm y el equipo de medición Unislide TA 4020H1-S6 Velmex, para registrar la amplitud o ancho de anillos, estableciendo series cronológicas en formato decadal en archivos tipo “.txt”. La información se almacenó en computador con ayuda del paquete Measure J2x.

Análisis de datos: las series obtenidas fueron sometidas a control estadístico a través del programa *COFECHA* y sus aplicaciones dendrocronológicas (Holmes, 1983), estimando así, el nivel de sincronización producida por la señal de cada anillo a lo largo de la muestra y entre individuos para el mismo periodo de crecimiento (Grissino-Mayer, 2001; Speer, 2010), advirtiendo que las series cuya correlación no lograron superar valores mayores a 0.22, 0.32 y 0.24 para los sitios Colonia Mado (CM), San Antonio (SA) y Bernardo de Irigoyen (BI) respectivamente, fueron descartadas, para reducir el error de la señal ambiental de la serie maestra al ser comparada con las variables ambientales.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa *INFOSTAT* versión 2013 (Di Rienzo et al., 2013). Para la construcción de series de tiempo en cada sitio, se emplearon datos crudos en unidad de milímetros, el ajuste para las curvas de suavizado tipo Lowess, descrito por Cleveland (1979) para sintetizar la relación que se observa entre variables, fue aplicado con valor de 0,15 y estimación del error estándar en cada medición (citado por Di Rienzo et al., 2013). También se tuvo en cuenta, la variación asimétrica que presentaron las secciones transversales de *A. angustifolia*, entre el centro geométrico y anatómico, por lo tanto se ajustó la amplitud de los anillos (Ecuación 1), para evitar estimaciones erróneas al emplear el radio como variable respuesta.

$$Aa = \left(\frac{Rc}{Rm}\right) * Am \quad [1]$$

Donde, Aa: ancho ajustado, Rc: radio del círculo perfecto (circunferencia/2 π), Rm: radio medido en cada serie y Am: ancho del anillos medido.

Partiendo del ajuste anterior, las mediciones fueron analizadas como datos longitudinales, descritos en su forma acumulada (*Cracum*), por el modelo de Gompertz (Ecuación 2), el cual presenta una curva de tipo sigmoidal asimétrica, que permite describir

el comportamiento del crecimiento radial acumulado, según sus parámetros y evolución en el tiempo (edad de crecimiento en años).

$$Cracum = \alpha * \exp(-\beta * \exp(-\gamma * Edad)) \quad [2]$$

Donde, alfa α : representa el máximo crecimiento radial que puede alcanzar la especie en cada sitio (asíntota de la curva), beta β : describe la relación entre la tasa máxima de crecimiento estandarizada y el total del crecimiento (tasa intrínseca de crecimiento), gama γ : es el valor en el tiempo que permite analizar el cambio de concavidad o punto de inflexión de la curva y edad (años) que es el tiempo en el cual se desarrolla el crecimiento secundario (Kiviste et al., 2002; Notivol et al., 2007; Casas et al., 2010).

Los parámetros y construcción de curvas fueron estimados por regresión no lineal, a través el método de mínimos cuadráticos en cada estimación, por árbol individual y agrupado por sitio, efectuando 99 interacciones (Anexo II). La validación del modelo se realizó de manera gráfica, por los residuos estandarizados y, cualitativamente, comparando los coeficientes de correlación ajustados. Los factores sexo, sitio y parámetros del modelo Gompertz fueron analizados para observar el grado de interacción a través de un modelo lineal mixto, con mínimas diferencias significativas, para un alfa igual a 0.05.

El índice de sitio fue estimado a partir de la ecuación 3, ajustada para la especie *A. angustifolia* en la región de Misiones (Friedl et al., 1997).

$$Ln(IS) = Ln(H) + 6.620104 \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{25} \right) \quad [3]$$

Donde, Ln: logaritmo neperiano, IS: índice de sitio, H: altura dominante, E: edad a la cual hace referencia la altura dominante (Friedl et al., 1997).

Las series resultantes del proceso de calibración, se emplearon para analizar el efecto de la precipitación y la temperatura sobre el crecimiento radial. Se tomaron las cronologías residuales del ancho de anillos, éstas a su vez, fueron estimadas con el uso del programa *ARSTAN* (Cook and Holmes, 1986). El programa *ARSTAN* eliminó la varianza debido a factores biológicos y geométricos, mediante el ajuste a los valores de medición de ancho de anillo, de una curva exponencial negativa o línea recta, y de esta manera, producir índices derivados de la división entre los valores actuales de anillo total (medidos) y los estimados (Cook and Holmes, 1984). El programa generó tres versiones de cronologías de anillo total, que son estándar, residual y *ARSTAN* (Cook, 1985).

Los valores en cada variable climática fueron organizados dentro de una matriz compuesta por año de referencia, más el registro mensual de cada una. Las variables de

precipitación y temperatura fueron consideradas series homogéneas por Cattaneo et al. (2013), luego de aplicar la rutina de *DPL (HOM, Lenguaje R)* (Holmes, 1983). El proceso de calibración dendroclimática fue ejecutado para los sitios CM y SA por la longitud de las cronologías y se desarrolló mediante el paquete *BootRes* en lenguaje *R* (Zang and Biondi, 2012) (Anexo IV).

Los datos meteorológicos empleados en el análisis climático, provienen de la estación meteorológica de Montecarlo, localizada en 26°34'S y 54°45'O, a 203 msnm, la cual dista 60, 123,7 y 123,8 de CM, SA y BI, respectivamente (INTA, 2012), con registros empleados para los periodo (1950-2009) de precipitación y (1950-2012) en temperatura.

RESULTADOS

El crecimiento radial medio anual estimado por la amplitud de los anillos de *A. angustifolia*, mostró correlaciones aceptables entre series cronológicas para cada sitio e incluso presentó un mejor ajuste al discriminar las mediciones por el criterio de sexo. Sin dejar de lado, las alteraciones en su formación de leño tales como: fluctuaciones o cambios de densidad, amplitud variable, compresión y ausencia de anillos. Un patrón similar sobre anillos notablemente más amplios ocurre en los primeros 10 años de crecimiento, mientras que los anillos comprimidos son característicos al final del proceso de crecimiento, además del contorno asimétrico, expuesto en cada sección transversal (Figura 3). Colonia Mado (CM) presentó el mayor crecimiento radial medio entre sitios (6.26mm \pm 3.62), al igual que la sensibilidad media, sin embargo mostró una menor correlación (0.38) entre series comparado con San Antonio (SA) y Bernardo de Irigoyen (BI) (Tabla 1).

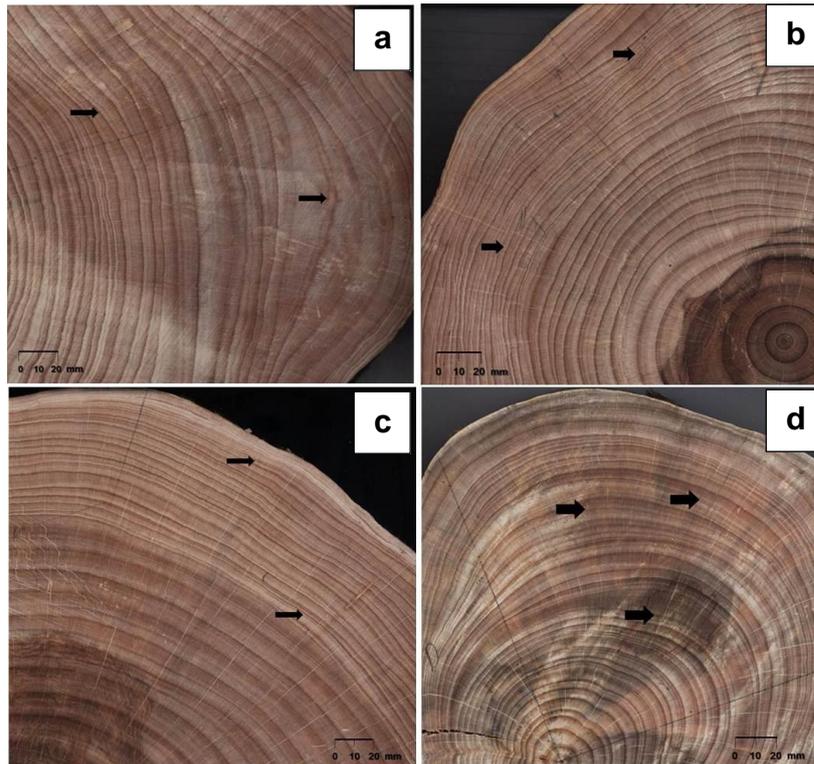


Figura 3. Dificultades en el proceso de datación de *Araucaria angustifolia*. **a.** Cambios bruscos de amplitud en el ancho de anillo **b.** Lentes o pérdida de leño y anillos ausentes **c.** Anillos comprimidos **d.** Fluctuaciones o cambios de densidad y asimetría de las rodajas.

Tabla 1. Características dendrocronológicas de los individuos de *Araucaria angustifolia* para los sitios: Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen en la provincia de Misiones.

	Colonia Mado	San Antonio*	Bernardo de Irigoyen
Árboles datados	20	45	16
Periodo (años)	1955-2012 (57)	1950-2008 (58)	1974-2012 (38)
Anillos datados	1749	3480	1046
CRM (mm) ± DS	6,26±3,62	4,75±3,37	3,89±2,14
Smin-Smax (mm)	1,414-14,64	0,924-11,97	1,54-10,19
Correlación entre series	0,38	0,49	0,45
Sensibilidad media	0,44	0,40	0,41

CRM: crecimiento radial medio, Smin: señal mínima, Smax: señal máxima, DS: desviación estandar. *Series obtenidas por Cattaneo et al. (2013).

Las series obtenidas luego de validar las métricas de ancho de anillos, por datación cruzada (crossdating), permitieron señalar el año inicial de establecidas las plantaciones (Tabla 1). Para el total de las series de *A. angustifolia* se observó una correlación positiva

(0.38), mostrando así, una señal común que permite describir a nivel regional la dinámica de crecimiento secundario en términos de la tendencia biológica temporal y esto a través de su potencial dendrocronológico. El patrón de crecimiento radial descrito por la curva de suavizado y que a su vez, exhibe los valores de amplitud y errores estándar, tiende a mostrar un crecimiento acelerado en los primeros cinco años tras el establecimiento de la plantación, es decir, a partir del año 1955 en CM, 1950 en SA, y 1974 en BI. Así mismo, se presentan valores máximos de amplitud de anillos alrededor de 10 mm, durante los años 5 y 10 en CM y SA, respectivamente.

El ritmo de crecimiento decrece de forma general, pasados los primeros dos lustros para los tres sitios. En los últimos años analizados cuando se presentan anillos comprimidos se observó una tendencia positiva al crecimiento radial para los últimos seis años en individuos de BI (Figura 4). De acuerdo con la característica dioica que presenta *A. angustifolia* se observó una señal promedio anual de 5,47 mm ($\pm 3,40$) en masculinos y 5,08 mm ($\pm 3,10$) en individuos femeninos. Los individuos masculinos tienden a presentar un mayor crecimiento, en los primeros años de formación leñosa, estabilizando dicho patrón en el décimo año, al parecer esta tendencia se invierte para el final del periodo de muestreo, donde los individuos femeninos aumentan sus valores de crecimiento (Tabla 2) (Figura 5).

Tabla 2. Características dendrocronológicas diferenciadas por dioecia en plantaciones de *Araucaria angustifolia* para los sitios Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen en la provincia de Misiones.

	Colonia Mado		San Antonio*		Bernardo de Irigoyen	
	M	F	M	F	M	F
Series	16	17	33	36	14	15
Anillos	856	893	1535	1945	510	536
Correlación entre series	0,343	0,401	0,514	0,460	0,480	0,462
Sensibilidad media	0,469	0,410	0,371	0,424	0,423	0,403
SM \pmDS (mm)	6,236 \pm 3,65	6,277 \pm 3,59	4,817 \pm 3,57	4,677 \pm 3,22	4,220 \pm 2,46	3,575 \pm 1,85
SMin (mm)	1,619	1,414	0,924	1,549	1,541	1,722
Smax (mm)	14,643	14,383	11,968	11,617	10,190	5,873

M: masculino, F: femenino, SM: señal media, Smin: señal mínima, Smax: señal máxima, DS: desviación estándar. *series obtenidas por Cattaneo et al. (2013).

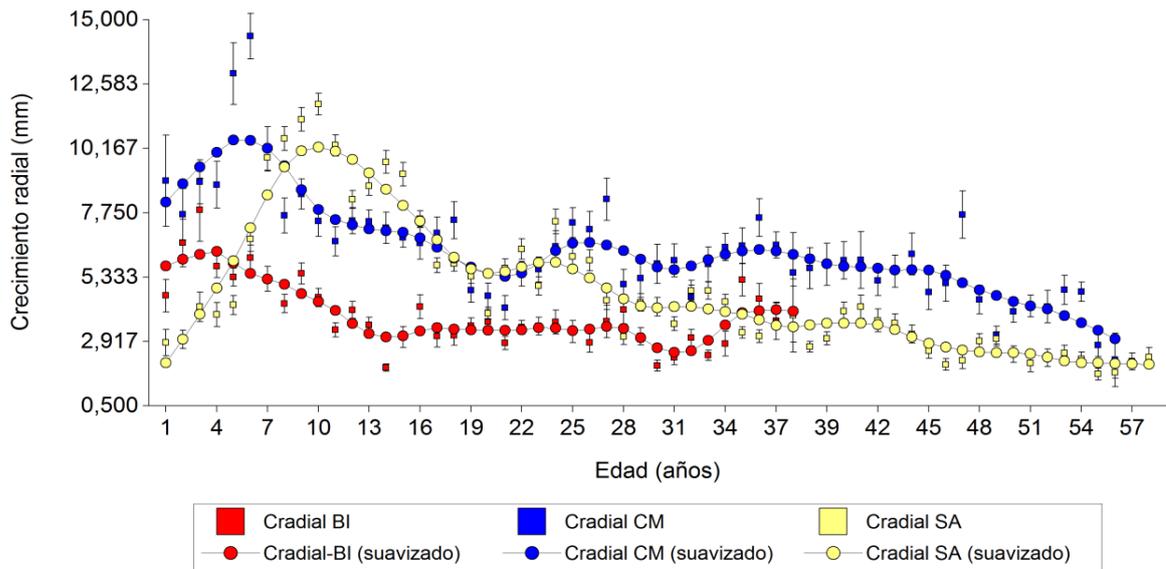


Figura 4. Crecimiento radial (Cradial) en milímetros (mm) de *Araucaria angustifolia*, construido con las mediciones ajustadas, para cada sitio de estudio. CM: Colonia Mado (azul), SA: San Antonio (amarillo) y BI: Bernardo de Irigoyen (rojo), cada series incluye curva de suavizado tipo Lowess (0,15) y error estandar.

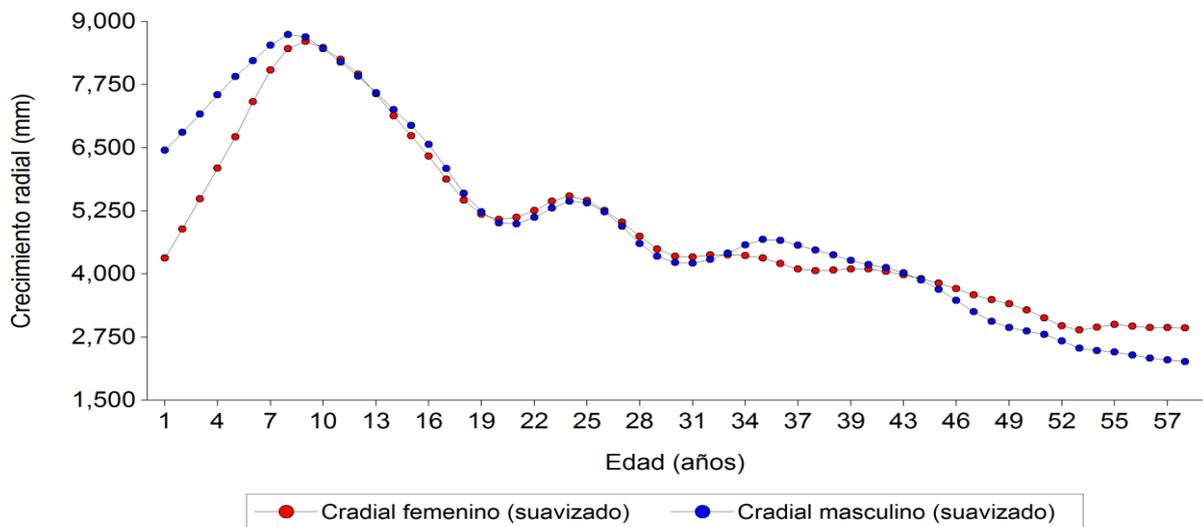


Figura 5. Curvas de crecimiento radial de *Araucaria angustifolia*, aplicando suavizado Lowess (0,15) en cada grupo de individuos según el sexo, de color rojo para individuos femeninos, azul los masculinos. Criterio de dioecia agrupando todos los individuos pertenecientes a los sitios Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen, provincia de Misiones, Argentina.

La estimación de los parámetros y el ajuste al modelo de crecimiento Gompertz, por árbol individual para cada sitio, presentaron la siguiente validez: de manera gráfica los residuos estandarizados oscilaron entre -3,89 y 3,26 (Figura 6a), además los coeficientes de correlación ajustados (r) entre residuos, fueron mayores que 0,96. Así mismo, la distribución normal de residuos entre cuantiles (residuos observados contra predichos) se ajustan a la recta $Y=X$ (Figura 6b).

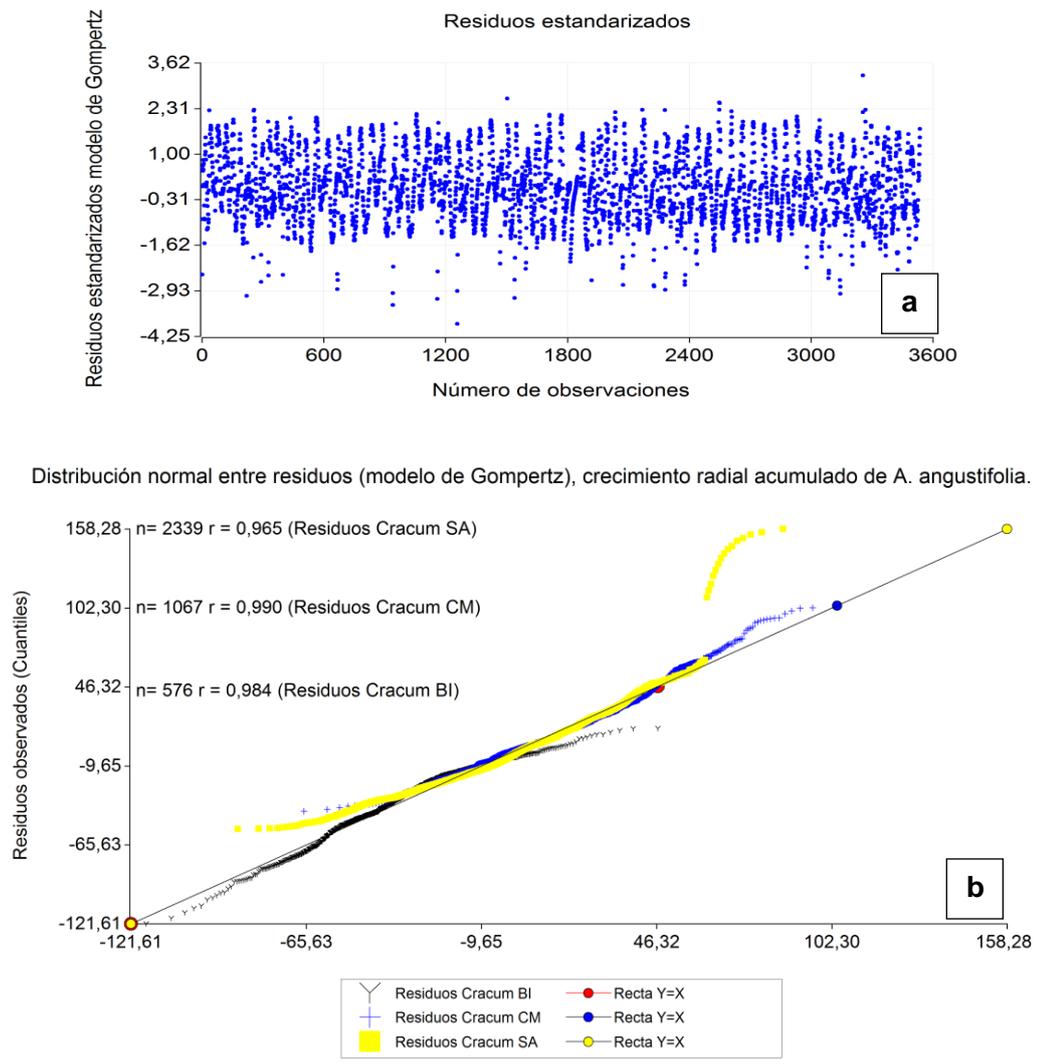


Figura 6. Evaluación gráfica y cuantitativa de los residuales obtenidos por el modelo Gompertz. Para *Araucaria angustifolia* **a)** Residuos estandarizados frente a las observaciones registradas. **b)** Distribución de residuos entre cuantiles, con relación a cada sitio. Dónde: CM Colonia Mado (azul), SA San Antonio (amarillo), BI Bernardo de Irigoyen (rojo), n: observaciones y r: coeficiente de correlación.

Los sitios CM y SA mostraron, un umbral de crecimiento radial acumulados posible, pasados los 65 años de edad, con valores de 352 mm y 300 mm respectivamente, y que corresponden a la predicción ajustada por el modelo de Gompertz. Para el sitio BI, los valores casi asintóticos que pueden alcanzar éstas masas, fueron estimados en 187 mm teniendo en cuenta una edad de analisis de 40 años (Figura 7). En promedio los máximos crecimientos radiales acumulados, fueron 286 mm (DS \pm 39,13) en CM, y al igual que la tendencia anteriormente expuesta, continúan decreciendo en los sitio SA y BI, con valores de 236 mm (DS \pm 22,49) y 139 mm (DS \pm 20,29) respectivamente.

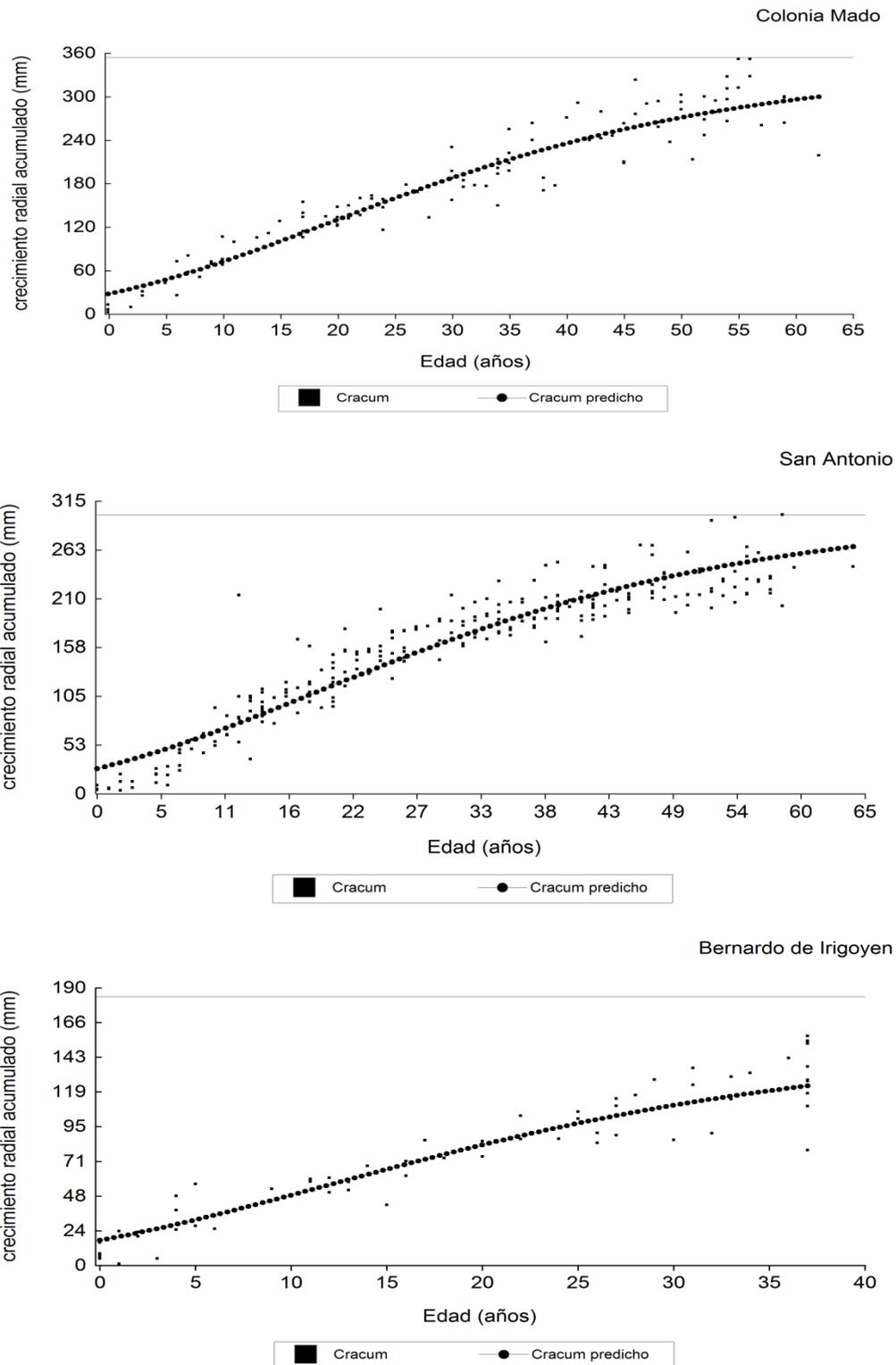


Figura 7. Tendencia del crecimiento radial acumulado de *Araucaria angustifolia*, en la provincia de Misiones, Argentina. Donde, Cracum (cuadros en negrita) representa el crecimiento radial acumulado, estimado en milímetros (mm), por árbol individual y Cracum predicho, es la curva ajustada por el modelo de Gompertz para cada sitio (línea punteada en negra), la asíntota corresponde al trazo superior (línea continua en gris).

La respuesta al crecimiento secundario presentó diferencias de acumulación radial a lo largo de la edad de plantación en cada sitio. Así pues, el proceso de retardo o desaceleración en la acumulación radial descrito por la curva ajustada al modelo de crecimiento de Gompertz, presentó para CM el periodo de tiempo más lejano en relentizar el crecimiento, tomando como referencia la edad de 16 años para este sitio, mientras que en SA el reporte fue hacia los 14 años de edad, y 11 años en BI (Figura 7). Finalmente, los crecimientos acumulados relacionados con las edades descritas anteriormente, confirman la tendencia decreciente observada hasta ahora, en cuanto a producción leñosa secundaria se refiere para los sitios de estudio, estos valores fueron: 111,77 mm en CM, 86,85 mm en SA y 51,10 mm en BI.

A través del modelo lineal mixto efectuado, fue posible integrar los factores de sitio, sexo y parámetros resultantes del modelo de crecimiento Gompertz. Teniendo en cuenta que los parámetros de los modelos no lineales siempre están correlacionados, no es posible analizar su influencia de manera separada. Por lo tanto, el modelo estimó: que el factor de dioecia no presenta diferencias significativas en la respuesta de crecimiento radial para *A. angustifolia*, por el contrario se observó una interacción significativa ($p < 0,001$) entre sitios por parámetros, y al comparar dichos parámetros, presentaron el siguiente patrón: el parámetro alfa (asíntota) mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sitios, mientras que la tasa intrínseca de crecimiento y el valor en el tiempo que define la variación del crecimiento no lo fueron (Tabla 3). Los parámetros estimados por árbol individual para cada sitio y la familia de curvas se relacionan en el Anexo II.

Tabla 3. Diferencias significativas entre los parámetros del modelo Gompertz por sitio. Dónde: CM Colonia Mado, SA San Antonio, BI Bernardo de Irigoyen.

Sitio	Parámetros	Medias	E.E.	
CM	Alfa	285,191	6,658	A
SA	Alfa	235,963	4,472	B
BI	Alfa	137,476	7,627	C
CM	Beta	4,691	0,496	D
SA	Beta	4,462	0,337	D
BI	Beta	3,626	0,569	D
CM	Gamma	0,086	0,006	E
SA	Gamma	0,096	0,004	E
BI	Gamma	0,104	0,007	E

E.E error estándar. Medias con una letra diferente son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Por otra parte, las tasas de crecimiento corriente anual (primera derivada del modelo de Gompertz), respecto a la edad en función del crecimiento acumulado predicho, permiten reforzar y describir aún más la tendencia en crecimiento expuesta por los individuos en cada sitio de muestreo. Mientras que CM y SA mostraron tasas medias de 20,3 mm/año y 15 mm/año, respectivamente, y como era de esperar, BI mostró la tasa media de crecimiento corriente más baja con 11,3 mm/año (Figura 8).

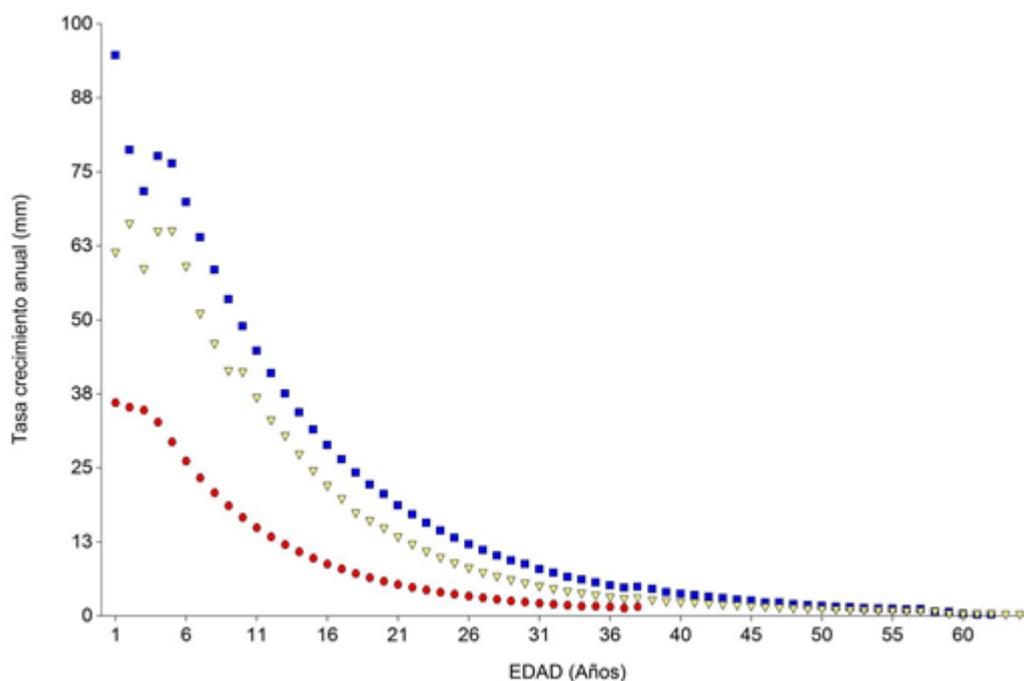


Figura 8. Tasa de crecimiento corriente anual de *A. angustifolia*, para los sitios Colonia Mado (azul), San Antonio (Amarillo) y Bernardo de Irigoyen (Rojo) en la provincia de Misiones Argentina.

Las correlaciones obtenidas entre las variables climáticas objeto de estudio y las cronologías residuales para los sitios CM y SA, fueron positivas en los meses de mayo, junio, julio y agosto previos al periodo de crecimiento, en cuanto a precipitación se refiere; mientras que la temperatura describe igual comportamiento en el mes de julio. Dichas correlaciones no superan valores de 0,30. Durante el periodo de crecimiento, los valores positivos coinciden solo para el mes febrero en función de la precipitación, y ninguno de los meses analizados para la variación de temperatura (Figura 9).

La respuesta climática al crecimiento radial de *A. angustifolia*, presentó significancia en seis meses para todo el análisis ejecutado. Es decir, los meses significativos previos al periodo de crecimiento, presentaron correlaciones positivas significativas de precipitación en el mes de julio para el sitio CM, mientras que abril y agosto lo fueron para SA. Además, el mes significativo durante el periodo de crecimiento en términos de precipitación fue estimado para el mes de abril, en el sitio SA (Figura 9). Por otra parte, La temperatura mostró un marcado contraste frente a los meses estimados de marzo y mayo, como

significativos dentro del periodo de crecimiento, más sin embargo dichas correlaciones fueron negativas en el primero de los meses enunciados, caso opuesto ocurrió en el mes de mayo. El efecto de temperatura descrito anteriormente ocurrió en CM.

La sensibilidad media promedio fue de 0,4 para los sitios de muestreo, teniendo en cuenta las dificultades en el proceso de datar, por ausencia o anillos comprimidos dentro de la serie. Por otra parte, la incidencia climática expresada en este caso, a través de las variables de precipitación, temperatura y la señal residual durante los meses previos a la época de crecimiento (abril-agosto) del año previo, hasta llegar al mes de septiembre del año siguiente, parecen indicar ausencia de un patrón común sobre el crecimiento y su respuesta al clima, en cuanto a sitios se refiere. Sin embargo, la relación entre el crecimiento radial y precipitación mostró correlaciones positivas para los meses Noviembre y Diciembre en los sitios MA y SA, respectivamente, siendo significativa en el mes de Abril para el sitio SA.

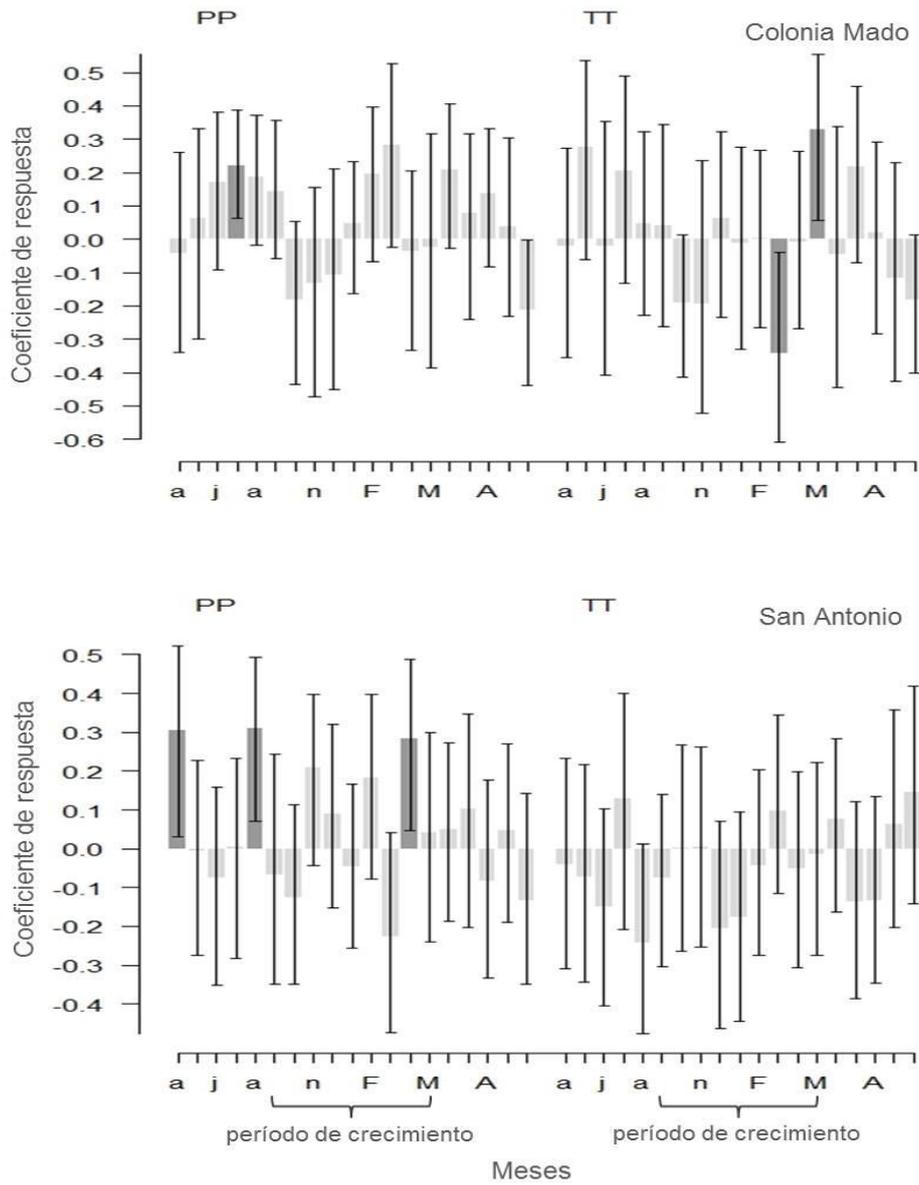


Figura 9. Respuesta climática entre variables de precipitación (PP) y temperatura (TT) y la señal residual dendrocronológica para los sitios Colonia Mado y San Antonio. Valores de coeficiente respuesta (banda gris) y significancia $p < 0,05$ (banda gris oscuro). Los intervalos de confianza corresponden a las barras. Los meses correspondientes al periodo de crecimiento son desde septiembre a mayo.

DISCUSIÓN

La información obtenida a través de métodos dendrocronológicos, permitieron describir en términos de tendencia biológica temporal, la dinámica de crecimiento secundario de *A. angustifolia*, con un patrón similar dentro de la región selvática de Misiones. Destacando los primeros 10 años como el periodo de mayor crecimiento radial, de igual manera ocurrió al conjunto de métricas analizadas por el criterio de dioecia. Los análisis derivados de la señal de anillos de crecimiento del presente estudio, cumplieron con dos principios fundamentales: el primero de ellos, la datación cruzada (*crossdating*), la cual permitió validar las cronologías, mostrando sincronía entre la formación del anillo y el periodo anual de crecimiento secundario, al presentar valores de correlación de 0,38 aceptables y de menor magnitud en comparación con los estimados por Seitz and Kanninen (1989), de 0,60 para un periodo de 54 años, sin embargo Oliveira et al. (2009), obtuvieron valores de 0,23 empleando en todos los casos *A. angustifolia*.

El segundo principio, permitió inferir con precisión la variación en el crecimiento radial medio anual de *A. angustifolia*, basados en las investigaciones de Lisi et al. (2001) sobre la formación anual de los anillos en *A. angustifolia*, al datar mediante concentraciones de $\Delta^{14}C$ por efecto de las bombas nucleares en el año 1960, por consiguiente, se confirma la formación anual de los anillos para la especie en mención en los sitios de CM, SA y BI. El potencial dendrocronológico expuesto por *A. angustifolia*, al igual que otras especies del entorno geográfico y ecológico como *C. catenaeformis*, *C. fissilis* (Lisi et al., 2001), se evidencian como herramienta indispensables para reconstruir fenómenos de silvicultura, meteorología y/o ecología entre otros (Speer, 2010). Por otra parte las anomalías descritas en la observación de leños, tales como: cambios bruscos de amplitud, anillos comprimidos, perdida o ausencia de anillos y cambios de densidad intra anual, persisten en individuos de *A. angustifolia* en su rango de distribución, y sugieren como posible causa, cortos periodos de sequía durante la estación de crecimiento (Oliveira et al., 2009; Oliveira et al., 2010; Vergarechea, 2012).

La variación de crecimiento secundario de *A. angustifolia* en los sitios CM, SA y BI, presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores máximos de crecimiento acumulado, descritos por el parámetro alfa en el modelo lineal mixto. Por lo tanto, el rodal implantado en el sitio CM, quien mostró un umbral promedio de 285 mm y máximo asintótico posible de 352 mm, es quien dista en menor magnitud del observado en el sureste del Brasil donde se reportaron 470 mm en crecimiento radial acumulado para 65 años de edad (Hess, 2006).

Los valores de índice de sitio obtenidos en CM, SA y BI fueron de 23, 19 y 15 m respectivamente, y se encuentran en el rango establecido por Friedl et al. (1997), quienes estimaron índices entre 14 y 26 m para evaluaciones silviculturales. En general diversas especies arbóreas de ecosistemas subtropicales, como *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake. y *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. 19.6 mm/año y 18.3 mm/año respectivamente, presentaron altas tasas de crecimiento radial anual, similares al registro obtenido en CM y SA (20.3 mm/año, 15mm/año, respectivamente) mientras que BI (11,3 mm/año) pudiera mostrar una tasa de crecimiento equiparable a especies de crecimiento tardío como *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols. (4.9 mm/año) y *Hymenaea courbaril* L. (7.9 mm/año) (Lisi et al., 2008). Además, el menor registro de crecimiento radial anual en BI, comparado con los otros dos sitios de muestreo, advierte sobre la calidad de sitio y la falta de manejos ordenados en éstos rodales, destacando así, la importancia que conlleva el uso de técnicas de dendrocronología y sus diferentes aplicaciones al ofrecer detalles precisos en cuanto a la variación temporal del crecimiento radial en determinadas especies vegetales y más específicamente de *A. angustifolia*, en la región subtropical de Argentina.

Los valores de sensibilidad media registrados por *A. angustifolia*, permitieron relacionar el crecimiento secundario con la variación climática, advirtiendo que la escasa longitud de las cronologías residuales en BI (31 años) limitan los análisis climáticos en términos de correlación, conociendo también que son los estadios juveniles en especies arbóreas quienes representan en menor proporción los cambios ambientales para ambientes limitados de temperatura en comparación con individuos más longevos (Rozas et al., 2008). Dünisch (2005), presentó para *C. fissilis*, una correlación significativa para la variación de temperatura, resultado opuesto ocurrió con la precipitación en bosques del Paraná (Brasil), por el contrario esta misma especie (*C. fissilis*), y *Cedrela odorata* desarrollaron anillos de crecimiento en respuesta al régimen de lluvias en bosques de Mato Grosso (Brasil) (Dünisch et al. 2003; Dünisch 2005). La precipitación en el mes de abril fue significativa para *A. angustifolia* en el periodo previo al crecimiento entre CM y SA, y continua siendo significativa en el periodo de crecimiento de para SA, además coincide con la respuesta positiva entre individuos masculinos y femeninos para este mismo sitio (Cattaneo et al., 2013).

El factor de dioecia no incide de manera significativa en la respuesta al crecimiento secundario de *A. angustifolia* entre los sitios analizados de MA y BI, lo cual es contradictorio a lo encontrado en un estudio previo que mostró una diferencia significativa de mayor crecimiento de los individuos femeninos cuando la población supera los 40 años (Cattaneo et al., 2013). Especies de coníferas como *Juniperus communis* L. y *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Florin. Boutelie, presentaron un patrón similar al reportado en el presente estudio (Marion y Houle, 1996; Rovere et al., 2003; Nuñez et al., 2008) (Citados por Rozas et al.,

2008). Mientras que Gao et al. (2010), concluye que *Fraxinus mandshurica* Rupr. presentó diferencias significativas en intervalos de tiempo (1931-1940 y 1980-2007), presentando mayor crecimiento significativo los individuos masculinos dentro del último periodo de análisis.

Finalmente, la precipitación incide de manera positiva en la variación de crecimiento secundario *A. angustifolia*, a nivel regional, durante los meses julio y agosto previos al periodo de crecimiento. Sin embargo el criterio de dioecia no permite diferenciar significativamente la relación sexo-crecimiento entre bosques implantados en el subtropico de Argentina.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo sobre *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze con edades entre 40 y 60 años, de rodales implantados en la provincia de Misiones, subtropico de Argentina, permiten concluir que:

La dendrocronología alberga y ofrece la robustez científica necesaria, para establecer edades y reconstruir el crecimiento radial en individuos de *A. angustifolia*, en el presente estudio, los rodales implantados pertenecientes a los sitios de muestreo Colonia Mado, San Antonio y Bernardo de Irigoyen presentaron edades de 57, 58 y 40 años respectivamente.

La variación en crecimiento radial de *A. angustifolia* fue mayor en Colonia Mado con un valor acumulado de 352 mm, seguido por San Antonio con 300 mm, para un periodo de 65 años, mientras que Bernardo de Irigoyen presentó un crecimiento radial acumulado de 187 mm a lo largo de 40 años.

El efecto de sitio presentó diferencias significativas en relación al crecimiento radial de *A. angustifolia*, mientras que el efecto de diferenciación sexual de *A. angustifolia*, no presentó diferencias significativas en cuanto a crecimiento radial se refiere, para la escala regional analizada.

La precipitación incide de manera significativa con relación al crecimiento radial de *A. angustifolia*, en el mes de julio para rodales implantados en Colonia Mado, al igual que abril y agosto responde positivamente en el rodal de San Antonio.

De acuerdo con la longevidad reportada de *A. angustifolia*, el presente estudio fundamenta sus resultados en un periodo temprano de formación leñosa, por tal motivo es indispensable extender las cronologías a nivel temporal y espacial, para adquirir nuevas interpretaciones en el desarrollo vegetal, ecológico y silvícola de ésta especie en futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Al programa de movilidad internacional beca Erasmus–Universidad de Valladolid-Banco Santander, por el financiamiento durante la estancia realizada en la Universidad Nacional de San Luis, Argentina.

A mis profesores y directores del trabajo fin de máster, Dra. Stella Marys Bogino y Dr. Felipe Bravo, por sus valiosos conceptos y lineamientos durante la ejecución del manuscrito y albergar, nuevas líneas de trabajo para el ejercicio de mi profesión como forestal.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) con sede en Montecarlo, en especial al Ing. Hugo Fassola por la invitación para trabajar con el material dendrocronológico de la especie *Araucaria angustifolia*, y sus permanentes sugerencias para mejorar la estructura del trabajo. Así mismo al Dr. Rafael Scherer propietario del rodal Colonia Mado (Empresa Pindo) por autorizar la toma del material y técnicamente a los Ingenieros Forestales Hugo Reis y Angela Winck, a la Lic. En Genética, Pamela Alarcón de la EEA Montecarlo, por la identificación y clasificación sexual de los individuos empleados en el estudio. En San Antonio al Ing. Ftal Norberto Pahr. En Bernardo de Irigoyen a Angela W. y la Ing. Ftal Alejandra Carballo de la AER de Bdo de Irigoyen, al dedicar tiempo y esfuerzo en la toma de datos, y personal de apoyo en campo con motosierra Ramón del Campo Anexo Manuel Belgrano.

A los profesores Jorge Leporati de la Universidad Nacional de San Luis y Julio Di Rienzo en la Universidad Nacional de Córdoba, por la dedicación desinteresada y continua en el manejo de la información y colaboración en el uso de los paquetes informáticos de estadística *InfoStat* y *R*.

A mis hermanos Mardelly Kateryne y Heder Asdrubal, quienes impulsaron con afecto y apoyo, la buena decisión de continuar estudios de máster y culminación del trabajo.

A mi compañera de viajes y afectos, Carmen Yuliet Escudero Vásquez, por su permanente ánimo y ayuda tanto en la fase de campo como ajustes en la presentación del presente trabajo.

A mi compañero de máster José Riofrío, por el tiempo y explicaciones ofrecidas en el uso del programa *R*.

A todas aquellas personas quienes con su tiempo y amabilidad rodearon mi estancia en España y Argentina, acompañada del buen aroma del café y el compartir del mate. Entre muchos más: agradecimientos a la profesora Mirta Gómez, compañeros y amigos Nicolás Cattaneo, Marta Vergarechea, Jorge Olivar, Juan Carlos Lara y Fabuer Ramón Valencia.

BIBLIOGRAFÍA

Bittencourt JVM. 2007. *Araucaria angustifolia* its Geography and Ecology. En: Geography (Mannion AM, Ed). Geographical Paper 180. Reading, UK. 1-17 pp.

Boninsegna JA, Villalba R, Amarilla L, Ocampo J. 1989. Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. IAWA J 10, 2, 161-169.

Bravo F, Álvarez-González JG, Río M, Barrio-Anta M, Bonet JA, Bravo-Oviedo A, *et al.* 2012. Growth and yield models in Spain: historical overview, contemporary examples and perspectives. [online]. Disponible en: http://sostenible.palencia.uva.es/document/gfs/publicaciones/libros/2011_GrowthYield_Spain.pdf [6 Mayo 2013].

Brienen RJ, Zuidema PA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. Oecologia 146 (1), 1-12.

Cabrera AL. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. (Segunda edición, tomo 2, fascículo 1). Acme S.A.C.I. Buenos Aires, Argentina. 85 pp. [En Español].

Casas GA, Rodríguez D, Afanador G. 2010. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. Rev Colomb Cienc Pecu 23, 349-358.

Carvalho PER. 1994. Espécies florestais brasileiras: Recomendações Sílviculturais, Potencialidades e Uso da Madeira: Colombo: EMBRAPA-CNPQ. Brasília DF. 640 pp. [En Portugués]

Carvalho PER. 2003. Espécies florestais brasileiras. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, Brasília DF. EMBRAPA-SPI. pp. 1038. [En Portugués].

Cattaneo N, Parh N, Fassola H, Leporati J, Bogino S. 2013. Sex-related, growth-climate association of *Araucaria angustifolia* in the Neotropical ombrophilous woodlands of Argentina. Dendrochronologia 31, 3, 147-152.

Cook ER. 1985. A time series analysis approach to tree ring standardization. Tesis Doctoral, Department of Geosciences. University of Arizona, Tucson. [En Inglés]

Cook ER, Holmes RL. 1986. User manual for program Arstan. In Tree-ring chronologies of western North America, California, eastern Oregon and northern Great Basin (Holmes RL, Adams RK, Fritts HC, eds) Chronology series IV. University of Arizona, Tucson, Ariz. pp. 50-56.

Cook ER, Holmes RL. 1984. Program ARSTAN Users Manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, pp. 15.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> [1 de Abril de 2013].

- Dünisch O. 2005. Influence of the El-niño southern oscillation on cambial growth of *Cedrela fissilis* Vell. in tropical and subtropical Brazil. *J Appl Bot-Angew Bot* 79 (1), 5–11.
- Dünisch O, Montóia VR, Bauch J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees* 17 (3). 244-250
- FAO. 1973. Recursos genéticos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, en el Brasil [en línea]. Depósito de documentos de la FAO. 2. 72. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/e4209s/e4209s00.htm> [30 de Mayo de 2013].
- Farjon A. 2006. *Araucaria angustifolia*. [en línea] In: IUCN 2008. Red List of Threatened Species. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org> [10 Diciembre de 2012].
- Friedl R A, Crechi EH, Fassola HE. 1997. Sistema de simulación de producción y crecimiento para especies forestales implantadas primera parte: *Araucaria angustifolia*. Manual de descripción técnica. Gobierno de Misiones-Consejo Federal de inversiones-INTA-Empresas Forestales de Misiones y N.E. de Corrientes - El Dorado. 10 pp. [En Español]
- Gao P, Tchernyshyov I, Chang TC, Lee YS, Kita K, Ochi T, et al. 2009. c-Myc suppression of miR-23a/b enhances mitochondrial glutaminase expression and glutamine metabolism. *Nature* 458, 762–765
- Giraldo VD, Del Valle JI. 2012. Modelación del crecimiento de *Albizia niopoides* (Mimosaceae) por métodos dendrocronológicos. *Rev. biol. trop* 60 (3), 1-20.
- Giraldo JA, Del Valle JI. 2011. Estudio del crecimiento de *Prioria copaifera* (Caesalpinaceae) mediante técnicas dendrocronológicas. *Rev. biol. trop* 59 (4), 1813-1831.
- Giraud AR, Povedano H, Belgrano MJ, Krauczuk E, Pardiñas U, Miquelarena A, et al. 2003. Biodiversity status of the interior Atlantic forest of Argentina. En: *The Atlantic forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook* (Galindo-Leal C, Câmara IG, eds). Washington, DC, USA. pp. 160-180.
- Götz, I. 1992. Manejo silvicultural de plantaciones de *Araucaria angustifolia* en Misiones, Argentina. Situación actual y perspectivas futuras. II Jornadas Tecnológicas: Desarrollo Forestal Misionero en el MERCOSUR. INTA-UNaM-AMAYADAP. Septiembre 7, p. 45- 52.
- Goya J, Sandoval M, Arturi M, Burns S, Russo F, Santaca M, Azcona M, Sañudo G. 2012. Plan de manejo forestal campo anexo Manuel Belgrano, perteneciente a la EEA-Montecarlo INTA Misiones - Unidad ejecutora Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales LISEA. 53.
- Grau HR, Easdale TA, Paolini L. 2003. Subtropical dendroecology-dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina montane ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 117, 131-143.
- Grissino-Mayer HD. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program Cofecha. *Tree-ring Research* 57 (2). pp. 205-221.

- Hess, F. 2006. Inter-relações no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul. Tesis de doctorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. [En Portugues]
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978. Disponible en: <http://www.worldclim.org/current> [12 de Abril de 2013].
- Hijmans RJ, Guarino L, Mathur P, Jarvis A, Rojas E, Cruz M, Israel Barrantes. 2004. Programa Diva-GIS. Version 7.5. LizardTech, Inc./University of California, Patente U.S. No. 5,710,835 International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), y UC Berkeley Museum of Vertebrate Zoology. Disponible en: <http://diva-gis.org/download> consultado el 13 de Abril de 2013.
- Holmes LR. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin*. 43. 69-78.
- Kiviste A, Álvarez-González JG, Rojo-Alboreca A, Ruiz-González AD. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Madrid. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Monografías INIA: Forestal 4. 190 p.
- KLEIN, R. M. 1960: O aspeto dinamico do pinheiro brasileiro. *Sellowia* 12: 17-44. Itajaí, Santa Catarina
- Leite PF, Klein RM. 1990. Vegetação. In: Geografia do Brasil Região Sul, (Mesquita OV, ed). Vol. 2. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil. pp. 113-150.
- Ligier HD, Mattelo HR, Polo HL, Rosso JR. 1990. Atlas de suelos de la república de Argentina. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Proyecto PNUD ARG. 85/019. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Tomo II. pp. 111-154.
- Lisi CS, Tomazello MF, Botosso PC, Roig FA, Vivian RBM, Ferreira-Fedele L, et al. 2008. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *IAWA J*, 29, 189–207.
- Lisi CS, Pessenda LCR, Tomazello-Filho M, Rozanski K. (2001) 14C Bomb effect in tree rings of tropical and subtropical species of Brazil. *Tree-ring Research* 57(2), 191–196.
- López L, Villalba R, Bravo F. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecol Manag* 292, 49–55.
- Mósená M, Dillenburg L R 2004. Early growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] Kuntze) in response to soil compactation and drought. *Plant Soil* 258. 293-306.
- Nicotra AB. 1999. Sexually dimorphic growth in the dioecious tropical shrub, *Siparuna grandiflora*. *Funct Ecol* 13 (3), 322–331.
- Notivol E, Garcia-Gil MR, Alía R, Savolainen O. 2007. Genetic variation of growth rhythm traits in the limits of a latitudinal cline in Scots pine. *Can J Forest Res* 37 (3), 540.

- Obeso JR, Retuerto R. 2002. Dimorfismo sexual en el Acebo, *Ilex aquifolium*: ¿Coste de la reproducción, selección sexual o diferenciación fisiológica? RCHN 75: 67-77.
- Oliveira JM, Roig FA, Pillar VD. 2010. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. Austral Ecol 35, 134-147.
- Oliveira JM, Santarosa E, Pillar VD, Roig FA. 2009. Seasonal cambium activity in the subtropical rain forest tree *Araucaria angustifolia*. Trees 23. 107–115.
- Peel MC, Finlayson BL, McMahon, T A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, HESS 11, 1633-1644.
- Rozas V, De Soto L, Olano JM. 2009. Sex-specific, age-dependent sensitivity of tree-ring growth to climate in the dioecious tree *Juniperus thurifera*. New Phytol 182 (3), 687–697.
- Rozas V, Olano JM, De Soto L, Bartolomé D. 2008. Large-scale structural variation and long-term growth dynamics of *Juniperus thurifera* trees in a managed woodland in Soria, central Spain. Ann. For. Sci. 65: 809.
- SAyDSN. Ley 26331 2007. Bosques nativos. Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos. Senado y Cámara de diputados de la Nación de Argentina. 10. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar> [30 de Mayo de 2013].
- Seitz RA, Kanninen M. 1989. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. IAWA J 10, 170–174.
- Silveira-Wrege M, Higa RCV, Britez RM, Garrastazu MC, De Sousa VA, Caramori PH *et al.* 2009. Climate change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil In: Adapting to climate change. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Unasyuva 231/232, 60 Rome, Italy. pp. 231-232.
- Souza VA. 2007. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. Austral Ecology 32, 524-533 pp.
- Sousa VA. 2000. Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.: PhD Dissertation thesis, Georg-August University of Göttingen, Göttingen. [En Inglés].
- Sparnochia LJ. 2009. Selva misionera. En: Maderas y bosques argentinos. Actualizaciones. Segunda edición. Tomo II, capítulo I. Buenos Aires, Argentina. pp 943-958.
- Speer J. 2010. Fundamentals of tree-ring research. The University of Arizona Press, Tucson, UEA. 333 pp.
- Stokes M, Smiley T. 1968. An Introduction to Tree-Ring Dating, University of Arizona Press, Tucson, UEA. 73 pp.
- Tomazello FM, Lisi CS, Botosso PC. 2000. *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kunt., the Brazilian pine, as a potential species for dendrochronological studies. In International conference on dendrochronology for the third millennium Mendoza (Argentina), Laboratório de Dendrocronologia - IANIGLA/CONICET, v. único. p.165.
- Tortorelli LA. 1956. Maderas y bosques argentinos. Segunda edición. Tomo I y II Orientación Gráfica Editora SRL Buenos Aires. 1111 pp. [En Español].

- Vergarechea M, Bogino S. 2012. Anomalías anatómicas de los anillos de crecimiento de *Araucaria angustifolia* en los bosques umbrófilos neotropicales de Argentina. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Luis, Argentina. [En Español].
- Villalba R, Grau HR, Boninsegna JA, Jacoby GC, Ripalta A. 1998. Tree-ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America. *International Journal of Climatology* 18, 1463–1478.
- Voltolini S. 2000. Ciclo da Madeira em Pato Branco: Retorno 3: Pato Branco, Imprecel.
- 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.
- Zanon MBL, Finger CAG. 2010. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. *Cienc Florestal* 3, 467-476.
- Zanon MLB. 2007. CRESCIMENTO DA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. DIFERENCIADO POR DIOICIA. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. [En Portugués].
- Zhang C, Biondi F. 2013. Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia* 31 (1). 68–74.

ANEXO I



Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze



Colonia Mado



San Antonio



Bernardo de Irigoyen

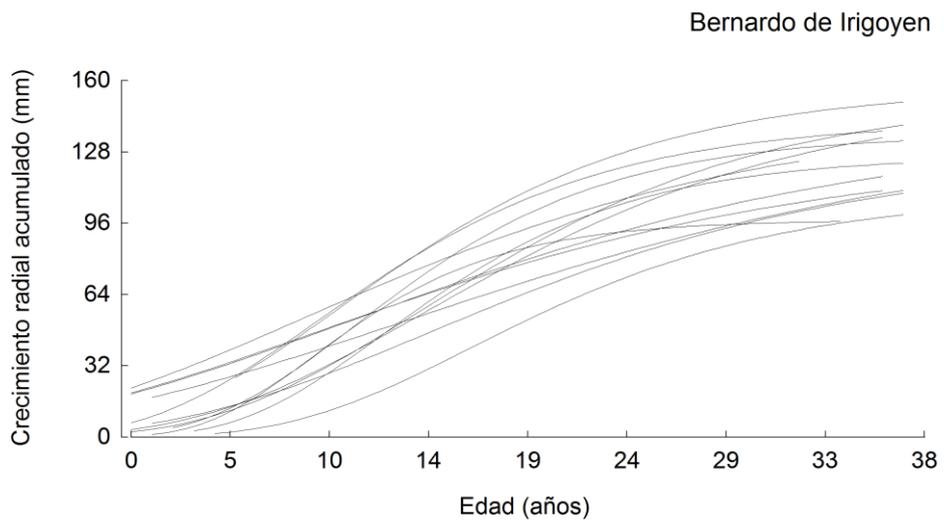
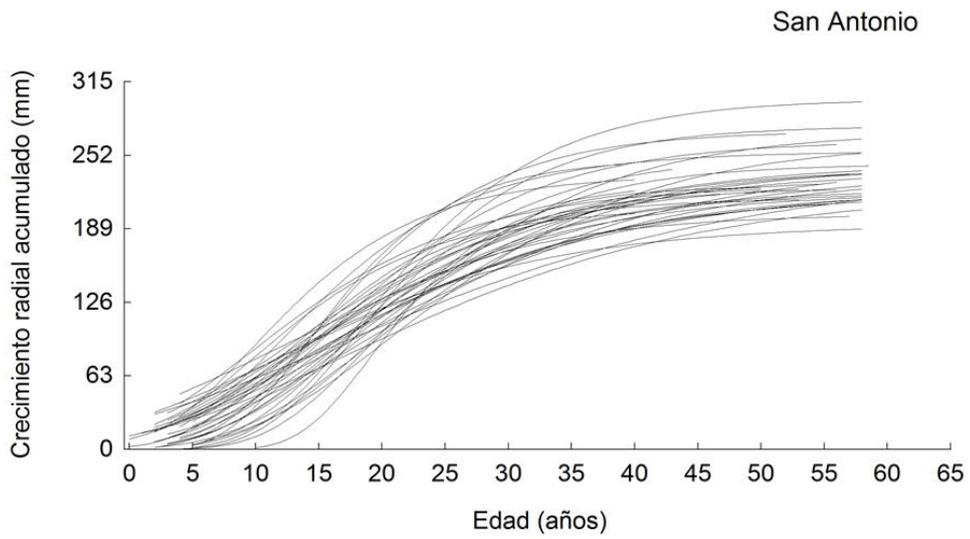
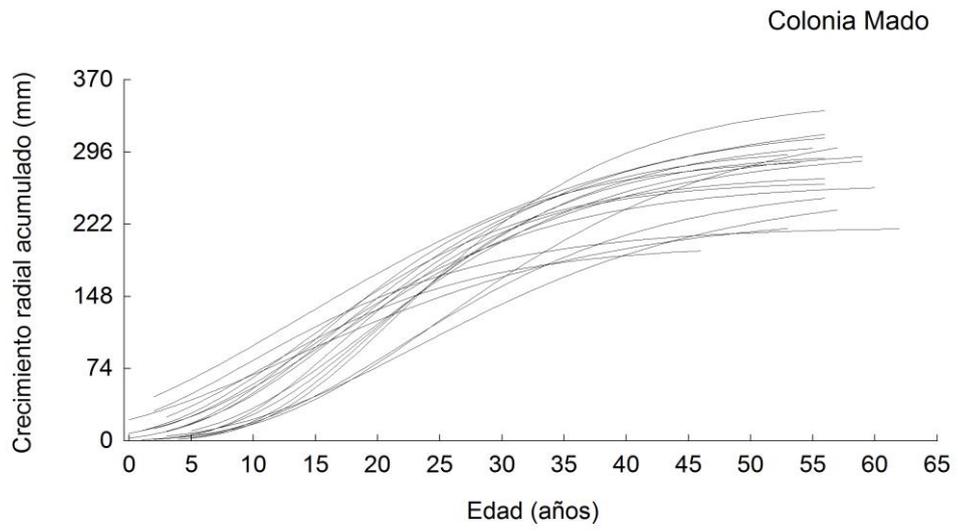
ANEXO II

SITIO	No. árbol	ALFA	BETA	GAMMA
MA	1	303,83	4,56	0,09
MA	2	352,14	7,64	0,09
MA	3	298,69	3,61	0,08
MA	4	219,43	2,35	0,09
MA	5	300,46	5,20	0,09
MA	6	264,16	3,65	0,09
MA	7	260,48	4,88	0,07
MA	8	274,71	3,57	0,09
MA	9	332,46	5,70	0,07
MA	10	234,33	2,38	0,07
MA	11	290,92	4,57	0,1
MA	12	312,23	6,08	0,09
MA	13	330,48	6,12	0,07
MA	14	201,14	2,81	0,1
MA	15	324,05	4,40	0,08
MA	16	339,41	2,27	0,06
MA	17	335,1	6,20	0,08
MA	18	296,37	7,62	0,1
MA	19	266,28	6,78	0,11
MA	20	264,33	5,95	0,08

SITIO	No. árbol	ALFA	BETA	GAMMA
BI	1	184,18	2,24	0,06
BI	2	126,95	3,28	0,08
BI	3	153,59	4,16	0,1
BI	4	152,37	3,78	0,09
BI	5	97,46	5,36	0,19
BI	6	141,96	3,09	0,13
BI	7	145,9	1,89	0,08
BI	8	157,08	3,15	0,12
BI	9	78,99	4,17	0,16
BI	10	128,58	1,87	0,07
BI	11	140,61	1,98	0,07
BI	12	108,96	6,72	0,12
BI	13	139,63	2,19	0,06
BI	14	93,36	9,57	0,24
BI	15	136,09	4,62	0,14
BI	16	126,22	5,92	0,15

SITIO	No. árbol	ALFA	BETA	GAMMA
SA	1	229,27	3,34	0,1
SA	2	233,84	3,88	0,11
SA	3	249,15	9,11	0,16
SA	4	221,15	2,89	0,08
SA	5	241,01	2,05	0,06
SA	6	255,26	4,12	0,12
SA	7	222,65	4,23	0,10
SA	8	236,39	2,84	0,07
SA	9	224,43	4,37	0,11
SA	10	190,97	0,46	0,04
SA	11	272,72	6,94	0,10
SA	12	207,32	3,18	0,12
SA	13	224,20	4,07	0,10
SA	14	251,89	7,35	0,12
SA	15	225,20	8,46	0,17
SA	16	229,52	2,81	0,09
SA	17	226,46	2,62	0,10
SA	18	300,30	9,32	0,12
SA	19	219,62	3,03	0,08
SA	20	227,46	2,23	0,06
SA	21	235,35	3,59	0,13
SA	22	245,80	2,90	0,08
SA	23	219,24	3,01	0,08
SA	24	264,52	6,01	0,09
SA	25	255,44	3,06	0,08
SA	26	244,67	10,72	0,12
SA	27	241,95	5,83	0,09
SA	28	264,73	5,21	0,11
SA	29	277,16	10,54	0,13
SA	30	249,99	3,28	0,09
SA	31	231,03	5,52	0,11
SA	32	241,80	5,03	0,09
SA	33	241,14	4,60	0,09
SA	34	219,97	5,29	0,10
SA	35	233,84	2,29	0,08
SA	36	193,02	2,31	0,08
SA	37	272,81	6,39	0,13
SA	38	239,87	2,29	0,05
SA	39	238,92	3,08	0,08
SA	40	202,04	3,13	0,10
SA	41	245,09	3,63	0,07
SA	42	215,49	4,54	0,12
SA	43	237,56	3,01	0,07
SA	44	223,05	2,85	0,07
SA	45	222,75	2,93	0,06

ANEXO III



ANEXO IV

```

dir()

library(bootRes) [1]
local({pkg <- select.list(sort(.packages(all.available = TRUE)),graphics=TRUE)
if(nchar(pkg)) library(pkg, character.only=TRUE)})
PP<-read.table("prec.txt") [2]
TT<-read.table("temp.txt") [3]
names(TT)<-c("year","J","F","M","A","M","J","J","A","S","O","N","D") [4]
MA<-read.table("MArsd.txt") [5]
names(MA)<-c("year","res","sample") [6]
row.names(MA)<-MA$year [7]
MA<-MA[,-1] [8]
head(MA) [9]
class(MA) [10]
MA.correl<-dcc(MA,list(PP,TT),vnames = c("PP","TT"),
method="corr",start=-4,end=10) [11]
dcplot(MA.correl) [12]
=====#SA
PP<-read.table("prec.txt") [2]
TT<-read.table("temp.txt") [3]
names(TT)<-c("year","J","F","M","A","M","J","J","A","S","O","N","D") [4]
SA<-read.table("SArsd.txt") [5]
names(SA)<-c("year","res","sample") [6]
row.names(SA)<-SA$year [7]
SA<-SA[,-1] [8]
head(SA) [9]
class(SA) [10]
SA.correl<-dcc(SA,list(PP, TT),vnames = c("PP", "TT"),
method="corr",start=-4,end=10) [11]
dcplot(SA.correl) [12]

```

[1] Instalación del paquete BootRes y carga de complementos, para efectos de calibración dendroclimática a través de la técnica de remuestreo. Calcula los coeficientes de respuesta para 1000 muestras aleatorias con un nivel alfa de 0,05.

[2] Lectura de la matriz de precipitación (PP) en formato *.txt*

[3] Lectura de la matriz de temperatura (TT) en formato *.txt*

[4] Nombre asignado para cada columna en la matriz de temperatura, mediante la función concatenar, iniciando con variable año seguida por los meses.

[5] Cronologías residuales obtenidas de la señal de crecimiento mediante el programa *ARSTAN*, y dispuestas en columnas seguidas por el número de muestras empleadas en la estimación y ajuste. Corresponde a los sitios MA Colonia Mado y SA San Antonio.

[6] Consolidado de la información en estructura matricial (año, residuales y muestras)

[7] Nombre otorgado a cada fila que corresponde al año calendario.

[8] Eliminación de la doble columna nombrada como objeto año.

[9] Comando de visualización parcial del conjunto de datos, diagnostico preliminar.

[10] Categoría de la información, eg. objeto, vector, dataframe.

[11] metodología de correlación, utilizado Pearson función dcc con un nivel de significancia de 0,05

[12] sentencia para graficar, las diferentes respuestas de correlación, según los meses indicados, en función del periodo de crecimiento, además muestra la significancia estimada en forma de banda e intervalos de confianza.