



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**Desarrollo de tablas de producción para rodales de *Pinus elliottii*
implantados en la Sierra de Comechingones, Córdoba.**

Fernández Corradi, Ignacio

DNI: 37.206.330

Director: Ing. Agr. MSc. Plevich, José Omar

Co-Director: Ing. Agr. Fiandino, Santiago Ignacio

Río Cuarto, Córdoba

Diciembre-2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO.
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA.**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

“Desarrollo de tablas de producción para rodales de *Pinus elliottii*
implantados en la Sierra de Comechingones, Cordoba”

Autor: Fernández Corradi, Ignacio.
DNI: 37.206.330

Director: Ing. Agr. MSc. Plevich, José Omar

Co-Director: Ing. Agr. Fiandino, Santiago Ignacio

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Prof. Esposito, Gabriel _____

Prof. Demaestri, Marcela _____

Prof. Plevich, José Omar _____

Prof. Fiandino, Santiago _____

Fecha de Presentación: ____/____/____

Secretario Académico

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue generar tablas de producción para *Pinus elliottii* implantados en la Sierra de Comechingones. Esta región desde la década del 70' ha manifestado un incremento en la superficie forestada, principalmente con especies del género *Pinus*. En la actualidad existen 20.000 ha que presentan escaso o nulo manejo silvícola, y donde se desconoce el crecimiento de las masas. El estudio se realizó en el campo de docencia y experimentación "Las Guindas", próximo a la localidad de Alpa Corral, Córdoba. A través del método de muestreo estratificado al azar se relevaron 40 parcelas de 324 m², en cada una de ellas se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP) de todos los árboles vivos y la altura de 5 árboles. Los estratos muestreados corresponden a tres calidades de estación determinados mediante la generación de curvas de índice de sitio donde las "Laderas altas" se encuentran en las posiciones más elevadas en la toposecuencia, las "Laderas bajas" en posiciones intermedias; y los "Valles" representan cañadas y otras concavidades. De cada parcela empleada en la estimación del crecimiento poblacional se apeó un árbol dominante que fue sometido a análisis fustal para obtener el volumen real, el coeficiente mórfico y el incremento anual en área basimétrica. Con dichos datos se obtuvo la evolución del volumen en función del tiempo para ajustar los parámetros de un modelo de crecimiento estático. El modelo elegido utiliza como variables la altura dominante y un índice de densidad relativo (DR) que relaciona el área basimétrica por hectárea con el diámetro medio cuadrático. Los R^2 estimados determinan que el nivel de ajuste al crecimiento observado es alto, hallando valores de 0,97 en el valle, 0,97, en la ladera baja y 0,96 en la ladera alta. El valor del $CMError$ calculado fue de 666 para el valle, 233 para la ladera baja y 570 para la ladera alta. Correspondiendo a un 5,17% del volumen total en el valle (26 m³/ha), 4,8% en la ladera baja (15,3 m³/ha) y 10% en la ladera alta (23 m³/ha). Posteriormente se realizó la validación en los sitios de ladera alta y ladera baja donde se encontró un coeficiente de determinación (R^2) de 0,87 y 0,99 respectivamente. Sin embargo, no se pudo validar el modelo para los sitios de valle por ser insuficiente el número de parcelas independientes y, por lo tanto, se recomienda reforzar las mediciones en dicho sitio en futuros trabajos.

Palabras claves: Tabla de producción, *Pinus elliottii*, Sierra de Comechingones, anillos de crecimiento, modelos forestales.

**Development of yield tables for *Pinus elliottii* stands implanted in the sierra of
Comechingones, Cordoba, Argentina.**

SUMMARY

The aim of this work was to generate yield tables for *Pinus elliottii* implanted in the Sierra de Comechingones. The forested area of the region has increased since the seventies, mainly through the introduction of Pinus species. Nowadays, there are 20,000 ha of Pinus with little or null silvicultural management, and where the yield of the plantations is unknown. The study was carried out in "Las Guindas" farm, near the town of Alpa Corral, Córdoba. The measurements were carried on 40 plots of 324 m² through a stratified random sampling method. The strata corresponded to three different site qualities, determined by their site indexes; the "High hillsides" are in the highest positions of the toposequence, the "Low hillsides" in the intermediate positions; and the "Valleys" represent glens and other concavities. On each plot, we measured the diameter at breast height (DBH) of all the trees and the height of the thicker five. Then, one of these five dominant trees was chop down to measure its real volume, its form coefficient and its annual growth in basal area through stem analysis. These data was used to estimate the mean cumulated volume of the plantations according to their age. Further, we adjusted a yield model that estimates the volume through the dominant height and the relative density index (ID) of the stand. The R² values were 0.97 in the valley, 0.97 in the low hillsides and 0.96 in the high hillsides, which indicates a high goodness of fit. The mean square error (MSE) values were 666 for the valley, 233 for the low hillsides and 570 for the high hillsides, which represents a 5.17%, 4.8% and 10% of the total volume in the valleys, low hillsides and high hillsides respectively. The model was validated in the high hillside and low hillside sites, and the goodness of fit (R²) was 0.87 and 0.99 respectively. However, the model could not be validated in the valley due to a lack of independent plots, hence measurements should be reinforced at that site.

Key words: yield table, *Pinus elliottii*, Sierra de Comechingones, growth rings, forest models.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
Reseña histórica de la actividad forestal en Córdoba.....	4
La especie: <i>Pinus elliottii</i>	5
MATERIALES Y METODOS	6
El área de estudio	7
Método de muestreo.....	8
Cubicación de los árboles	10
Medición de los anillos de crecimiento.....	13
Determinación del incremento anual en área basimétrica.....	14
Determinación de la altura dominante a través de las curvas de sitio.....	14
Ajuste del modelo	17
Validación del modelo	18
Determinación del valor máximo técnico	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
Método de muestreo.....	20
Cubicación de los árboles	22
Ajuste del modelo	26
Validación del modelo	30
Tabla de producción.....	31
CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1- Arboles seleccionados para el apeo	21
Cuadro 2- Rango de edades a la altura de pecho halladas en el fechado.	22
Cuadro 3- Proporciones de crecimiento y CV hallados de cada sitio.	23
Cuadro 4- Parámetros ajustados del modelo (DR).....	28
Cuadro 5- Estadísticos descriptivos de los parámetros (DR).....	28
Cuadro 6- Parámetros ajustados del modelo.....	28
Cuadro 7- Estadísticos descriptivos de los parámetros.	29
Cuadro 8- Tabla de producción para el valle con índice de sitio 15,5 m a los 16 años.	32
Cuadro 9- Tabla de producción para la ladera baja con índice de sitio 13,6 m a los 16 años.	33
Cuadro 10- Tabla de producción para la ladera alta con índice de sitio 13,6 m a los 16 años.	34

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Imagen establecimiento “Las Guindas” .	7
Fig. 2- Imagen de “Las Guindas” donde se observa la ubicación de las parcelas de muestreo.	9
Fig. 3- Rodelas extraídas luego de apear y seccionar el árbol.	11
Fig. 4- Esquema del rollizo.....	12
Fig. 5- Imagen donde se aprecian los anillos de crecimiento de las rodelas medidas.	13
Fig. 6- Imagen donde se aprecian las características del valle y la ladera baja asociada.....	15
Fig. 7- Imagen donde se aprecian las características de la ladera alta.	16
Fig. 8- Curvas de índice de sitio a la edad de referencia de 16 años.....	17
Fig. 9- Porcentaje de clases diamétricas en cada sitio.	20
Fig. 10- Volumen real y Cf de cada árbol apeado.....	22
Fig. 11- Evolución del volumen observado en función del tiempo para los 3 sitios.	25
Fig. 12- Evolución de la densidad real en el tiempo.	26
Fig. 13- Dispersión de los valores de DR y línea de tendencia para el valle.	26
Fig. 14- Dispersión de los valores de DR y línea de tendencia para ladera baja.	27
Fig. 15- Dispersión de los valores de DR y línea de tendencia para la ladera alta.	27
Fig. 16- Coeficiente de determinación R^2	29
Fig. 17- Evolución del volumen simulado en función del tiempo.	30
Fig. 18- Coeficiente de determinación R^2	30

INTRODUCCIÓN

La Sierra de Comechingones es una región del centro de Argentina que ocupa 300.000 ha de la superficie de la provincia de Córdoba, con más del 80 % de sus paisajes dominados por ecosistemas herbáceos denominados pastizales, que constituyen el recurso natural básico para productividad animal bovina y caprina. A mediados del siglo pasado las autoridades gubernamentales reemplazaron pastizales por plantaciones de pino (*Pinus elliottii*, *P. taeda* y *P. radiata*), siendo *P. elliottii* la especie con mayor desarrollo en la región. Esto se debe a que esta especie presenta gran adaptabilidad, dado que soporta satisfactoriamente los extremos de temperaturas, lo que la convierte en una especie adecuada para ser plantada en las altitudes que presenta la región (Dimitri, 1977).

En la actualidad, hay alrededor de 20.000 ha de plantaciones con escaso o nulo manejo silvícola. Ante esta situación surge la necesidad de generar información que permita establecer las pautas para un correcto manejo de las plantaciones (Zupán, 2013).

La necesidad de predecir el crecimiento y la producción de las masas forestales, así como su respuesta a las actuaciones silvícolas, ha sido y es uno de los objetivos fundamentales de la investigación forestal, ya que la clave para una correcta gestión radica en un profundo conocimiento de los procesos de crecimiento de las masas. Es por ello que los modelos de crecimiento y producción son herramientas muy valiosas para los silvicultores y gestores forestales, al permitir predecir el desarrollo de los árboles y/o las masas forestales y, por tanto, facilitar la selección de las mejores alternativas para la toma de decisiones (Diéguez Aranda *et al.*, 2009; Crecente Campo, 2008).

Para la predicción del rendimiento, una de las herramientas que más se ha desarrollado en el ámbito forestal son las tablas de producción (Diéguez Aranda *et al.*, 2009). Se trata de cuadros numéricos que muestran la evolución en el tiempo de las variables de un rodal forestal coetáneo o regular, de una especie dada, dentro de un ámbito geográfico determinado para distintas clases de calidad de estación, y diferentes tratamientos silvícolas (Madrigal, 1999; Aguirre, 1990). La descripción sintética de la evolución de las masas mediante las tablas de producción tiene inmediatas aplicaciones en la gestión y planificación forestal (Sánchez *et al.*, 2003). Los modelos de crecimiento forestal, en general, y particularmente las tablas de producción necesitan para su construcción de una serie de datos o variables de entrada tales como la edad y la altura dominante (fundamentalmente), y luego otras como la densidad de plantas por hectárea, el diámetro medio cuadrático, el área basimétrica y el volumen.

Tradicionalmente estos datos se toman de parcelas de muestreo permanente donde periódicamente se realiza una lectura de las variables dasométricas de interés. Para poder generar una tabla representativa de la región se debe tomar un gran número de parcelas de muestreo que abarquen la heterogeneidad de sitios, edades, densidades, tratamientos silvícolas y condiciones de crecimiento de la especie (Madrugal, 1999; Diéguez-Aranda *et al.*, 2009; De La Fuente *et al.*, 1998). Es por ello que el tiempo y costo de recabar esa información es alto.

Una alternativa a esta problemática es conocer el crecimiento de las masas a través del tiempo analizando la información almacenada en el leño. Esta posibilidad se debe a que el clima del lugar presenta variaciones de temperatura y precipitación a lo largo de las estaciones, originando patrones de crecimiento diferentes. La madera temprana se forma antes, por una rápida división celular producto del aumento de temperatura y precipitación, luego la división celular disminuye por falta de condiciones generándose la madera tardía. Esto ocasiona que en los árboles se marquen anillos de crecimiento por diferentes características ópticas de la madera temprana y la tardía: las células de la madera tardía generalmente son más pequeñas y tienen una pared más gruesa que las de la madera temprana, lo que les da una densidad mayor y, por tanto, un color más oscuro (Gené *et al.*, 1993).

Esta característica de la madera permite obtener información fundamental para el desarrollo de la tabla de producción como son: la edad del árbol y el incremento anual en área basimétrica (a través de la medición de anillos). Además según Schweingruber (1996) estos patrones de crecimiento se repiten en los individuos de una misma región con lo cual mediante la medición de los anillos de crecimiento de algunos árboles se pueden ajustar modelos de crecimiento a partir de una baja intensidad de muestreo y un tiempo relativamente breve.

Una buena planificación del manejo forestal requiere proyecciones confiables de crecimiento y producción (García, 1994). El uso de las mismas, asociado con apropiados modelos de análisis económicos, permite tomar decisiones concernientes a la edad óptima de la cosecha, los niveles de renovación adecuados, los momentos de las cortas intermedias, entre otros aspectos (Clutter *et al.*, 1992).

Los modelos forestales representan la experiencia promedio de cómo los árboles crecen y compiten y por ende de cómo las estructuras de los bosques se van modificando. Son una simplificación de algún aspecto de la realidad y en especial un modelo de crecimiento del rodal es una abstracción de la dinámica natural de un bosque y puede abarcar

procesos como crecimiento, producción, mortalidad y otros cambios en la estructura del mismo (Von Gadow y Hui, 1999).

Para este trabajo se escogió una ecuación desarrollada por Mitchell y Cameron (1985). Estos autores generaron un modelo de crecimiento del rodal que permite estimar el volumen por superficie a través del crecimiento en altura dominante y un índice de densidad relativo (DR). Como el volumen por superficie depende de la cantidad de individuos del rodal, tradicionalmente se empleaban medidas absolutas de densidad como número de árboles y el área basal por superficie (Clutter *et al.*, 1992). Sin embargo estas medidas absolutas no son tan efectivas para expresar la ocupación del sitio si no se conoce alguna otra variable relacionada con el tamaño del rodal, que complemente a aquellas. En términos prácticos, esta combinación adquiere la forma de índices de densidad del rodal (DR), los cuales vinculan de alguna manera dos variables, una relacionada con el tamaño medio del mismo y otra con la densidad absoluta, para entregar un valor relativo del estado de la densidad. Estos índices permiten expresar el grado de competencia de los árboles del rodal en un momento dado. Además de emplear variables de sencilla medición, los índices de densidad tienen la particularidad de ser relativamente independientes de la calidad de estación (Prodan, 1997).

En lugares donde no existen modelos que describan la evolución de los rodales, las tablas de producción son herramientas confiables para predecir el volumen de madera que se puede extraer en la cosecha de un monte forestal y por lo tanto, calcular el ingreso neto que se puede obtener de la unidad comercial, siendo este dato de suma importancia para cualquier explotación forestal (Rojo *et al.*, 2005; Aguirre, 1990; Ibáñez y Otaola-Urrutxi, 2014).

En la región bajo estudio, la información disponible acerca del crecimiento de las plantaciones forestales es muy limitada, por lo que el propósito de este trabajo es generar tablas de producción que permitan estimar el crecimiento y la producción de los rodales.

Objetivo general:

Desarrollar tablas de producción para rodales de *Pinus elliottii* implantados en la Sierra de Comechingones, Córdoba.

Objetivos específicos:

- Calcular el tamaño muestral mínimo que permita estimar el volumen medio por hectárea de la población bajo estudio.
- Ajustar los parámetros de un modelo para predecir volumen.

- Validar los parámetros de dicho modelo.

Reseña histórica de la actividad forestal en Córdoba

Las primeras plantaciones de coníferas con carácter industrial comenzaron, en el Valle de Calamuchita, en el año 1958-1959 con el cultivo de pinos subtropicales, motivadas por la promoción forestal que llevaba a cabo la Administración Nacional de Bosques mediante créditos de fomento a largo plazo y con muy bajo interés a través del Banco de la Nación Argentina (Izurieta *et al.*, 1993).

En un primer momento se realizaron plantaciones con *Pinus radiata*, algunos años más tarde, al observarse que esta especie era severamente atacada por la “Mariposa del Ápice de los Pinos” (*Rhyacionia buoliana*), se comenzaron a plantar otras especies menos susceptibles como *P. elliotii*, *P. taeda*, *P. patula* y *P. pinaster*. Con el correr del tiempo se fueron imponiendo *P. elliotii* y *P. taeda* por mostrar mejor aptitud para la zona, mayor valor forestal y no presentar problemas fitosanitarios (Izurieta *et al.*, 1993).

Las superficies plantadas anualmente se incrementaron a medida que se apreciaban los buenos crecimientos puestos de manifiesto en la zona. Se fue desarrollando así una importante fuente de trabajo para los habitantes locales y de zonas aledañas. Se crearon numerosas empresas de servicios y se instalaron viveros para la producción de plantines, con lo cual se comenzó a transformar una zona de ganadería extensiva con escasa utilización de mano de obra, en una zona de explotación forestal (intensiva) con altos requerimientos humanos y técnicos (Izurieta *et al.*, 1993).

Las desgravaciones impositivas por forestación fue lo que mayor impulso brindó a la actividad forestal en el ámbito provincial. Así, el área plantada anualmente fue creciendo ininterrumpidamente hasta alcanzar su máximo en el año 1976 con alrededor de 5.000 ha al año. Hoy las empresas forestadoras prácticamente han desaparecido al igual que los viveros forestales, quedando a la fecha en la zona sólo dos o tres viveros en actividad, con baja producción y escasa demanda (Izurieta *et al.*, 1993).

La mayoría de las plantaciones no han tenido podas ni raleos, salvo en algunos establecimientos de Río de los Sauces. Debido al escaso nivel de actividad forestal, hasta el momento no existen grandes empresas de servicios, sino más bien pequeños empresarios contratistas, cuyos sistemas de trabajo son bastante rudimentarios (SAGPyA, 1999 a). Con el propósito de desarrollar el sector foresto-industrial, la Argentina ha conformado un marco legal que regula aspectos de la actividad, estimulando la inversión en bosques cultivados y la transformación industrial de sus productos (SAGPyA, 1999b). A fines de 1995 se

implementó el Plan Nacional de Desarrollo Forestal, cuyo objetivo fué promover la actividad del sector. Lo más trascendente fue la sanción de la Ley de Inversiones para Bosques Cultivados, Ley N° 25.080, con su decreto reglamentario N° 133/99, donde se crea un régimen de promoción para las inversiones forestales y forestoindustriales cuyo objetivo es ampliar la superficie forestada, con especies maderables exóticas o nativas (SAGPyA, 1999b). Los beneficios de la ley de Inversiones para Bosques Cultivados fueron recientemente prorrogados por diez años más mediante la ley N°26.432. Entre los principales beneficios que otorga se encuentran la estabilidad fiscal por no aumentar la carga tributaria total en un plazo de 30-50 años desde su aprobación, devolución del IVA gravado a todo bien o servicio involucrado en el proyecto, amortización del impuesto a las ganancias en relación a obras y equipamientos dentro del proyecto, apoyo económico no reintegrable mediante subsidios a la plantación de especies de alto valor comercial y a los tratamientos silviculturales de poda y raleo (SAGPyA, 2017c).

La especie: *Pinus elliottii*

Es originaria del sureste de los Estados Unidos donde se distribuye desde Carolina del Norte y Carolina del Sur, Misisipi hasta el sur de los Cayos de Florida. Es una especie de crecimiento rápido y vive poco (70 años) con respecto a los estándares de otros pinos que rondan los 200 años (Farjon, 2013). Presenta gran adaptabilidad, dado que se cultiva en regiones de nuestro país con condiciones muy disímiles (Dimitri, 1977). Se lo planta en los terrenos elevados y húmedos del Delta del Paraná con excelente desarrollo, también es objeto de intensa forestación en todo el litoral mediterráneo, en Corrientes, Misiones, Entre Ríos y Santa Fe, donde el crecimiento es exitoso. Soporta satisfactoriamente los extremos de temperaturas, no es sensible a las heladas ni a los fuertes calores (Dimitri, 1977).

Este árbol alcanza alturas de 18-30 m con un diámetro de 60-80 cm, posee 2 o 3 hojas por fascículo de 20- 30 cm de largo color verde claro brillante, escamas caulinares anchas y cortas dispuestas en forma de escudo. Los conos son oblongos de 7-15cm de largo cortamente pedunculados y caedizos a la madurez. Las escamas fructíferas son flexibles, con umbo central sobresaliente y mucron espinoso (Barotto *et al.*, 2008; Farjon, 2013).

Por ser un árbol resinífero el hombre en el pasado ha explotado esta especie casi exclusivamente para la obtención de resina y trementina, siendo Estados Unidos el mayor productor desde la época colonial, alcanzando el máximo en 1930. A partir de ese momento la extracción disminuyó debido a los costos de mano de obra para su obtención, por lo que la madera se empezó a explotar para otros usos como la industria de la celulosa, produciendo sulfato de trementina como sub producto (Farjon, 2013). En la actualidad los usos que se le

dan a la madera es para postes tratados, tablas para encofrar, carpintería y cajonería (IFONA, 2004).

Las características que posee la madera son longitud útil entre 6-8 m, diámetro promedio de 40 cm, color de la albura blanco amarillento y duramen amarillo ocráceo, brillo moderado y olor pronunciado. Posee buen comportamiento al secado y clavado, y regular comportamiento para el maquinado y pintado (IFONA, 2004).

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio

El trabajo se desarrolló en el campo de docencia y experimentación “Las Guindas”, perteneciente a la universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado a los 32° 35' 16.8" LS y 64° 43' 45.42" LO, y a 14 Km al N de la localidad de Alpa Corral, Dpto. Calamuchita, Córdoba, Argentina.

Este establecimiento posee 150 hectáreas de plantaciones de *P. elliottii* con escaso o nulo manejo, donde se desconoce el crecimiento y la producción de los rodales. Dentro de esta superficie, se trabajó únicamente sobre 93 hectáreas, donde los rodales fueron implantados en densidades similares a la media regional (>1000 plantas por ha).



Fig. 1- Imagen establecimiento “Las Guindas” (Fuente: Google Earth, 2017).

En cuanto a las características topográficas del lugar, las Sierras de los Comechingones están formadas por grandes fallas inversas que delimitan bloques hacia el este y sur con pendientes abruptas hacia el oeste (entre el 8 -15%) y suaves al este (entre el 3- 8%). La región posee un relieve ondulado, formada por suelos franco arenosos, con presencia de contacto lítico y paralítico (INTA, 1994).

Debido a su litología, responsable de la génesis de los suelos, hace que éstos presenten poco desarrollo. En las partes medias y bajas se encuentran rocas metamórficas, en condiciones de disgregación cuando son sometidas a presión, en cambio, en las partes altas se ubican rocas graníticas y bancos de caliza (INTA, 1994).

En la región predominan tres tipos de suelos: Hapludol lítico, Argiudol lítico y Udorthent lítico, los dos primeros pertenecientes al orden Molisol y el último suelo corresponde al orden Entisol (INTA, 1995).

En cuanto a las características climáticas presenta un régimen irregular de precipitaciones de tipo monzónico y una media anual de 1007 mm. La temperatura media anual es de 14,7 °C, siendo julio el mes de menor temperatura media (7,7 °C) y enero el mes de mayor temperatura media (21,1 °C). La temperatura máxima media anual registrada es de 22,3 °C, mientras que la mínima media anual es de 8,4 °C; lo que da como resultado una amplitud térmica media anual de 13,9 °C. La temperatura extrema más baja registrada corresponde al mes de julio (-13,7 °C), mientras que la más alta al mes de enero (42,3 °C) (Rivarola *et al.*, 2015).

La red de drenaje natural se caracteriza por cursos de agua bien definidos y pequeños cauces de arroyo, presentando una erosión de tipo lineal por las granulometrías del material originario, formando cárcavas de aspectos verticales (paredes) y fondo plano. Los ríos predominantes que atraviesan la región son el Alpa Corral, Río de los Sauces y Quillinzo. (INTA, 1994).

Método de muestreo

El tamaño de muestra necesario para determinar los estimadores de crecimiento de la población depende de la variabilidad de dichos estimadores y de la precisión deseada. A mayor variabilidad, mayor deberá ser la intensidad de muestreo, por ende la inversión en tiempo y dinero también lo serán (Gaillard de Benitez y Pece, 2011; Freese, 1967).

Debido a que la información disponible sobre las plantaciones era escasa, en un primer momento se tuvo que realizar la división de los rodales. Para ello, los únicos datos disponibles eran las fechas en las cuales se presentaron los documentos para acceder a los beneficios de la Ley forestal 25.080 y una división física observable a través de mapas, donde se delimitaban masas arbóreas a través de calles y pircas. Con esta información se realizó una agrupación según la edad de los rodales, estableciendo 3 grupos de rodales coetáneos.

La variabilidad en una plantación forestal está dada por las diferencias genéticas entre los individuos, el sitio y la edad de las masas. Con el fin de representar mejor la variabilidad de los sitios se optó por realizar un muestreo estratificado al azar, donde dentro de cada rodal se delimitaron 3 sitios semejantes según un criterio subjetivo (valle, ladera baja y ladera alta) para hacer la estratificación. Dentro de cada uno de ellos se establecieron parcelas de muestreo marcando los extremos con cinta para facilitar la posterior

identificación, además su ubicación se georreferenció con GPS y se registró el sitio donde estaba ubicada.

El total de parcelas inventariadas fue de 40, cada parcela de muestreo estaba conformada por 36 árboles, lo que con un marco de plantación de 3m x 3m, resulta en una superficie de parcela de 324 m². En total se muestreo una superficie de 1,3 ha representando 1,4% del total de la superficie forestada. En la figura 2 se observa que las parcelas están distribuidas homogéneamente por toda la superficie del establecimiento.



Fig. 2- Imagen de “Las Guindas” donde se observa la ubicación de las parcelas de muestreo (Fuente: Google Earth, 2017).

En estas parcelas se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP) con cinta dendrométrica a todos los árboles vivos y los individuos muertos se anotaron para calcular la densidad real. Con los valores de DAP se realizó la clasificación por grupos o clases diamétricas. Para ello se siguieron los lineamientos de Vita Alonso, (1978) quien propone categorizar los árboles a partir de la clase de copa, definiendo cuatro grupos o clases diamétricas: dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos. En base a esto, se determinó y se midió la altura de 5 árboles incluidos en las clases dominantes y codominantes. Con esta información se determinó la cantidad de muestras mínimas que representan a la población (Gaillard de Benítezy y Pece, 2011).

$$n = \frac{t^2 \sum_{j=1}^M P_j * S_j^2}{E^2}$$

Dónde:

n : tamaño muestral

t : valor t estudent

M : número de estratos

P_j : proporción de cada estrato

S_j^2 : varianza muestral del estrato

E^2 : error de muestreo

La varianza muestral de cada estrato se calculó con la siguiente fórmula (Gaillard de Benítez y Pece, 2011):

$$S_j^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} (x_{yj} - x_j)^2}{n_j - 1}$$

Dónde:

x_{yj} : valor de muestreo

x_j : promedio de la muestra

n_j : número de unidades de muestreo del estrato

La proporción del estrato muestral se calculó con la siguiente fórmula (Gaillard de Benítez y Pece, 2011):

$$P_j = \frac{n_j}{n}$$

Dónde:

n_j : número de unidades de muestreo del estrato

n : número total de unidades de muestreo

Cubicación de los árboles

Un árbol forestal se divide en tocón, fuste y copa. El tocón es la porción de tronco que va desde el suelo hasta los 30 cm. La copa es la parte superior del tronco, donde se encuentran insertas las ramas. El fuste, es entonces la porción del tronco comprendida entre el tocón y la copa, y representa la porción del árbol de mayor valor maderable. Los métodos de cubicación fueron desarrollados para estimar el volumen del tronco que corresponde al fuste y a la copa.

Se entiende por volumen aparente de un árbol al volumen que se obtiene al suponer que el tronco tiene la forma de un cilindro, de diámetro igual al DAP. La fórmula para el cálculo del volumen aparente es la siguiente:

$$V_{ap} = ((\pi \times D^2) \div 4) \times H$$

Dónde:

V_{ap} : volumen aparente

D : diámetro

H : altura

II: número pi

Por otra parte, el volumen real de un árbol es aquel que se obtiene por ecuaciones que permiten ajustar el cálculo de volumen a la forma real del árbol. Para poder utilizar dichas ecuaciones, fue necesario apea los árboles y trozarlos en secciones de menor longitud (Prodan *et al.*, 1997).

Al momento de realizar el inventario en cada parcela y después de medir la altura de los árboles, se seleccionó un árbol para su apeo. La selección consideró árboles con troncos rectos, sin bifurcaciones, con buen estado sanitario y la ubicación más adecuada para efectuar un apeo dirigido. Cuando el árbol estuvo en el suelo se midió la altura total y se secciono para la extracción de las rodelas, estas fueron obtenidas de 0,3 m, 1,3 m 2,3 m como alturas fijas y luego de esta última y en función de la altura total se extraían a intervalos de 3m, 2m, y 1m hasta la proximidad del ápice como se muestra en la figura 3. En total se apearon 24 árboles empleados como estimadores de crecimiento del rodal.



Fig. 3- Rodelas extraídas luego de apea y seccionar el árbol.

Las rodelas extraídas fueron asperjadas con una solución de agua e hipoclorito de sodio al 25% v/v para evitar la formación de hongos, luego de un tiempo de secado a temperatura ambiente se lijaron con lijadora de banco y se procedió a la identificación y marcación de los anillos de crecimiento. Se realizó el fechado de los árboles para comprobar que los árboles muestras tuvieran la misma edad. Hubo situaciones en que los árboles muestras no coincidieron en edad, debido a que hubo replantaciones en años posteriores a la

plantación. A pesar de ello, las edades dentro de los rodales seguían siendo similares (coetáneos) por lo que el muestreo siguió siendo válido.

Se utilizó la ecuación de Smalian para realizar la cubicación de los rollizos, dado que la misma necesita de una menor cantidad de mediciones y que, según Bonilla (1969), posee una exactitud estadísticamente satisfactoria. En la última porción del árbol el volumen fue calculado con la fórmula del cono.

La expresión matemática de la ecuación de Smalian es:

$$V_{real} = \frac{(gg + gf)}{2} * L$$

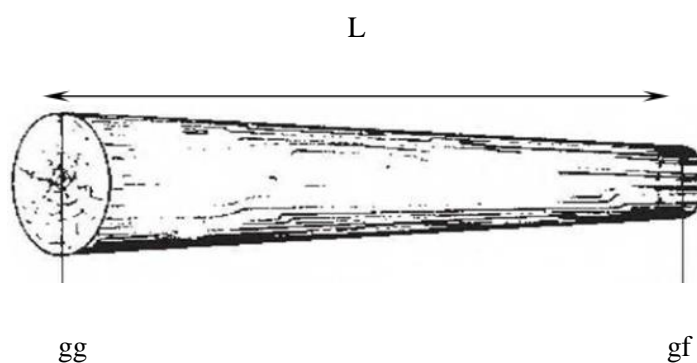


Fig. 4- Esquema del rollizo

En donde:

V real: volumen real.

gg: área transversal mayor.

gf: área transversal menor.

L: largo del rollizo.

La sumatoria de los volúmenes de cada rollizo que compusieron los troncos de los árboles, dio como resultado el volumen real de los árboles bajo análisis.

El coeficiente mórfico (Cf) es la relación entre el volumen real de un árbol y su volumen aparente. Este permitió convertir de volumen aparente a real los árboles del inventario que no se sometieron a análisis fustal. Se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$Cf = V_{real} \div V_{ap}$$

Dónde:

V_{real}: volumen real (m³)

V_{ap}: volumen aparente (m³)

Medición de los anillos de crecimiento

Para obtener los volúmenes acumulados por los árboles a lo largo de su vida, se realizó la medición de los anillos de crecimiento sobre las rodelas obtenidas de los rollizos. El procedimiento fue similar al utilizado por Fiandino, (2013):

- 1) Lijar varias veces las rodelas utilizando diferentes tipos de lijas, desde aquellas de grano grueso al principio hasta culminar con lijas de grano fino.
- 2) Humedecer las rodelas con agua para mejorar la identificación de los anillos.
- 3) Medir los anillos sobre las rodelas en dos direcciones (N-S y E-O).

En este trabajo se utilizó una variante a la medición tradicional con calibres. La misma consistió en marcar dos líneas perpendiculares en dirección N-S y E-O, en cada línea se marcaron los anillos de crecimiento, se identificó la rodela, se le adoso una regla y se la fotografió como se muestra en la figura 5. Luego a cada imagen se le midieron los radios de los anillos en las 4 direcciones mediante el programa Image J Schindelin, (2015) y se los promedió. El objetivo de este método de medición mediante programas de computadora fue el de preservar las rodelas, ya que la madera de *Pinus elliotii* cuando esta húmeda es propensa a formar hongos y cuando está demasiado seca se resquebraja dificultando las mediciones. Además, mediante este método, se acortan los tiempos de procesar información ya que la medición se realiza en forma digital y no es necesario el pasaje de datos de planillas a la computadora.



Fig. 5- Imagen donde se aprecian los anillos de crecimiento de las rodelas medidas.

Determinación del incremento anual en área basimétrica

El volumen obtenido de la cubicación proporciona el valor al momento del apeo, por lo que para poder conocer la dinámica de la acumulación del volumen en el tiempo se recurrió a la información almacenada en el fuste del árbol mediante los anillos de crecimiento. De ellos fue posible obtener el área transversal normal originada en cada periodo de crecimiento y estimar la acumulación del área basimétrica para todo el rodal mediante proporciones de crecimiento según la expresión:

$$Pa = \frac{ATi}{ATt}$$

Donde :

Pa: proporción acumulada del crecimiento

ATi: área transversal normal acumulada al año i (m²)

ATt: área transversal normal acumulada durante la vida del árbol (m²)

Luego, se calculó para cada año los volúmenes reales a partir de la siguiente formula:

$$V_{real\ i} = AB \times Pa_i \times H_i \times Cf$$

Dónde:

Vreal i: volumen real acumulado al año i (m³/ha).

AB: área basimétrica (m²/ha).

Pa_i: proporción acumulada del crecimiento al año i.

H_i: altura al año i (m).

Cf: coeficiente de forma.

Determinación de la altura dominante a través de las curvas de sitio

La estratificación por sitios se basó en el concepto de Donoso (1992) quien describe que desde el punto de vista forestal el sitio es un área de tierra y los factores climáticos, del suelo y bióticos que constituyen su medioambiente y que, en conjunto, determinan la capacidad del área para desarrollar arboles u otra leñosa de aplicación forestal. Otro aporte lo hacen Gasto, *et al.*, (1990) quienes definen al sitio como un ecosistema que, como producto de la interacción de factores ambientales, engloba un grupo de suelos o áreas abióticamente homologas, que requieren un determinado manejo y presentan una productividad potencial similar.

Los tipos de sitios en los que crecen los rodales bajo estudio son:

1. Valle: áreas asociadas a cursos de agua permanente o temporales, bajo declive de la pendiente y ausencia de afloramientos rocosos. Ambiente de mayor productividad.
2. Ladera baja: áreas asociadas a valles pero sin cursos de agua apreciables, mediano declive de pendiente y escasa presencia de afloramientos rocosos. Ambiente de mediana productividad.
3. Ladera alta: áreas asociadas a laderas bajas, con elevado declive de pendiente y abundante cantidad de afloramientos rocosos. Ambiente de menor productividad.

El gradiente topográfico quedaría entonces conformado por los valles en las posiciones más bajas, las laderas bajas en las posiciones intermedias y las laderas alta en las posiciones más elevadas del paisaje. El porcentaje de superficie que ocupa cada sitio en el área muestreada es de 17,4%, 30% y 50,6% respectivamente.

En las imágenes se puede apreciar lo anteriormente mencionado



Fig. 6- Imagen donde se aprecian las características del valle y la ladera baja asociada.



Fig. 7- Imagen donde se aprecian las características de la ladera alta.

Este trabajo final de grado (TFG) se llevó adelante de manera simultánea y sobre los mismos rodales que el TFG de Franco Banchero (Banchero, Plevich y Fiandino, UNRC Trabajo final de grado: “Curvas de sitio para *Pinus elliottii* en la Sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina”. Datos no publicados), quien con los mismos arboles apeados para la cubicación (cálculo del volumen real) reconstruyó mediante análisis fustal el crecimiento en altura para cada uno de los sitios caracterizados. Con los datos obtenidos, se ajustaron los parámetros de un modelo mediante regresión no lineal y se obtuvieron las curvas de calidad de sitio utilizando 16 años como edad de referencia para el cálculo del índice de sitio (IS). Estas curvas mostraron ser diferentes en los ambientes antes mencionados lo que permitió, por un lado, manifestar que la productividad entre ellos es diferente, y por otro, contar con las alturas dominantes para construir tablas de producción por sitio. Los valores de IS hallados fueron de 15,5 m, 13,6 m y 11,9 m en el valle, ladera baja y ladera alta respectivamente (figura 8).

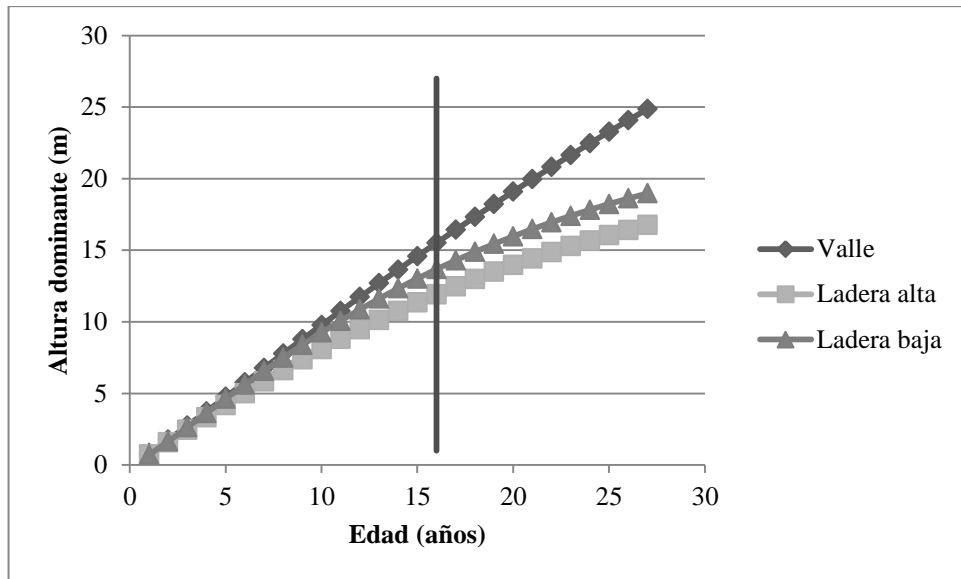


Fig. 8- Curvas de índice de sitio a la edad de referencia de 16 años.

Fuente: Banchemo, Franco (datos sin publicar).

Ajuste del modelo:

Para la modelización del crecimiento en volumen de los diferentes sitios se utilizó una ecuación desarrollada por Mitchell y Cameron, (1985), y utilizada por Andenmatten *et al.*, (2013), que responde a la siguiente expresión:

$$V = a H_0^b DR^c$$

Donde

V: volumen (m³/ha)

H₀: altura dominante (m)

DR: índice de densidad relativa

a, b, c: parámetros particulares

El índice de densidad relativa es la relación entre el área basimétrica por hectárea y el diámetro medio cuadrático, la forma de cálculo es mediante la siguiente expresión:

$$DR = \frac{G}{Dg^{0,5}}$$

Dónde:

DR: índice de densidad relativa

G: área basal del rodal (m²)

Dg: diámetro promedio cuadrático (cm).

El modelo seleccionado para predecir volumen tiene como variables intervinientes la altura dominante y el índice de densidad relativa (DR). Para poder ajustar sus parámetros, primeramente hay que modelar las variables que intervienen. Es por ello que en una primera instancia se modeló el DR, ya que los datos de altura fueron tomados del modelo de Bancharo (Bancharo, Fiandino y Plevich, UNRC Trabajo final de grado: “Curvas de sitio para *Pinus elliottii* en la Sierra de Comechingones, Córdoba, Argentina”. Datos no publicados).

Según lo expresado por Andenmatten *et al.*, (2013) el DR aumenta en el tiempo hasta alcanzar un valor máximo en donde se estabiliza y toma un comportamiento asintótico. Este comportamiento se sustenta en el principio de autoclareao de los rodales regulares bajo condiciones de alta competencia intra-específica, donde la masa cuando alcanza el valor máximo de carga se autorregula mediante la mortalidad natural, manteniendo el rodal en valores de densidad relativa máxima. La forma de evolución de este índice fue representada mediante una función logística donde se utilizó la edad como predictor según:

$$DR = \frac{a}{1 + b * e^{(-c*edad)}}$$

Dónde:

DR: índice de densidad relativa.

a,b y c: parámetros particulares.

edad (años)

Los parámetros del modelo y la variable DR se ajustaron mediante regresión no lineal con el software estadístico Infostat (Di Rienzo, 2013).

Validación del modelo

Una de las principales utilidades de los modelos forestales es predecir el crecimiento futuro de un rodal no utilizado en la construcción del modelo, por lo que es importante que las predicciones sean fiables. El procedimiento de evaluación de la fiabilidad de las predicciones es lo que se denomina validación del modelo (Madrigal, 1999).

La metodología empleada para realizar la validación consistió en hacer una simulación con datos (volumen) de parcelas que no le dieron origen y se contrastó con los datos (volumen) observados. Se evaluó la capacidad de predicción mediante el coeficiente de determinación (R^2) y el error absoluto medio.

Determinación del valor máximo técnico

A partir de los valores de volumen obtenidos como salida del modelo, se obtuvo el incremento corriente anual (*ICA*) y el incremento medio anual (*IMA*) que permiten establecer el valor máximo técnico. Este valor representa un óptimo biológico de la especie en estudio y sienta las bases para la oportunidad de establecer tratamientos silvícolas (cortas intermedias o cosecha final).

El *ICA* está representado por el crecimiento ocurrido entre el inicio y el final de la estación de crecimiento, en un periodo de 12 meses, o entre dos años consecutivos. La fórmula es la siguiente (Imaña y Encinas, 2008):

$$ICA = Y_{(t)} - Y_{(t-1)}$$

Dónde:

ICA: incremento corriente anual (m³/ha/año).

Y: volumen (m³/ha).

t: edad.

El *IMA* expresa el crecimiento anual, que resulta del cociente entre el valor total acumulado de la variable considerada, en un determinado tiempo de su evolución, desde su origen, y su edad en dicho momento (Imaña y Encinas, 2008). La fórmula es la siguiente:

$$IMA = Y_{t/t_0}$$

dónde:

IMA: incremento medio anual (m³/ha/año).

*t*₀: edad a partir del tiempo cero.

Y: volumen (m³/ha).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos a partir del inventario forestal, se presentan los datos del muestreo, la cubicación de los árboles, el ajuste y la validación del modelo para predecir volumen y, finalmente, la tabla de producción generada.

Método de muestreo

Debido a que los valores de DAP eran homogéneos, resulto en bajos valores de n para representar a la población, por lo que, con la muestra piloto realizada se pudo calcular el tamaño muestral sin necesidad de re muestreo. El valor final de n fue de 24.

Para escoger los árboles a los que se les midió la altura dentro de cada parcela, y que posteriormente fueron apeados para la cubicación, primero se tuvo que determinar que fueran dominantes, para ello se categorizaron los árboles a partir de su DAP. Los valores hallados se representan en la figura 9.

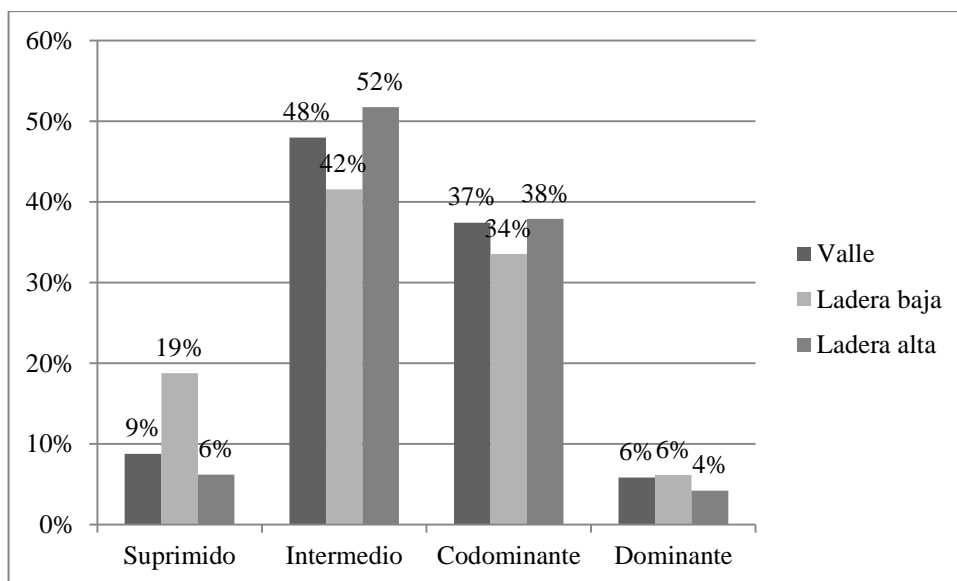


Fig. 9- Porcentaje de clases diamétricas en cada sitio.

Siguiendo la metodología del trabajo la clasificación se realizó por sitios, en ella se puede observar que los tipos de copas son semejantes en cada posición topográfica, excepto en los árboles suprimidos que se incrementan en la ladera baja, mostrando que la tasa de mortalidad son diferenciales según el tipo de sitio. En la mayoría de los sitios los árboles intermedios y codominantes son los que más abundan, característica de una estructura regular. Esta distribución corresponde a rodales no raleados en donde por la competencia de los factores de crecimiento luz, humedad y nutrientes y, con el paso del tiempo, se genera un

desarrollo desigual de las copas produciendo una diferenciación de ellas, en que los individuos más vigorosos ocupan el nivel superior y los más débiles el inferior, ahogándose gradualmente hasta la muerte. Este hecho genera, por un lado, la pérdida de madera aprovechable antes de la corta final por la muerte de los individuos que no toleran la competencia en el estrato inferior y por otro, la disminución del crecimiento de los individuos que se encuentran en el estrato superior como consecuencia nuevamente de la competencia. Analizando la mortalidad de los sitios a la edad de 20 y 27 años se encontró que los valores son similares, con una tendencia al aumento a medida que disminuye la calidad del sitio. En el valle es de 30% y 47%, en la ladera baja 23% y 50% y en la ladera alta 32% y 57%. A pesar de que los valores son semejantes en porcentaje, el volumen de madera que representan estas muertes es mucho mayor en los mejores sitios por su mayor productividad.

Además nótese que en promedio un 11% de los árboles pertenecen a la clase suprimidos, es decir, constituyen un recurso de bajo valor maderable y sin capacidad para responder a una mejora en las condiciones de crecimiento a través un raleo (Vita Alonso, 1978).

Los arboles seleccionados para el apeo se presentan en el cuadro 1, como se observa la cantidad es variable debido a que la proporción de la superficie de los grupos de rodales y sitios dentro de estos es diferente.

Cuadro 1- Arboles seleccionados para el apeo.

Grupo de rodales	Sitio	Cantidad
1	Valle	4
	Ladera baja	5
	Ladera alta	2
2	Valle	1
	Ladera baja	3
	Ladera alta	3
3	Valle	1
	Ladera baja	3
	Ladera alta	2
Total		24

En el cuadro 2 se muestra la edad de los árboles.

Cuadro 2- Rango de edades a la altura de pecho halladas en el fechado

Grupo de rodales	Rango de edades
1	23-27
2	18-20
3	16-18

Cubicación de los árboles

En la figura 10 se presentan los valores de coeficiente mórfico (cf) calculados, se observa que fueron semejantes entre sí a pesar de las diferencias en volumen individual que presentan los árboles para el rango de edades analizadas.

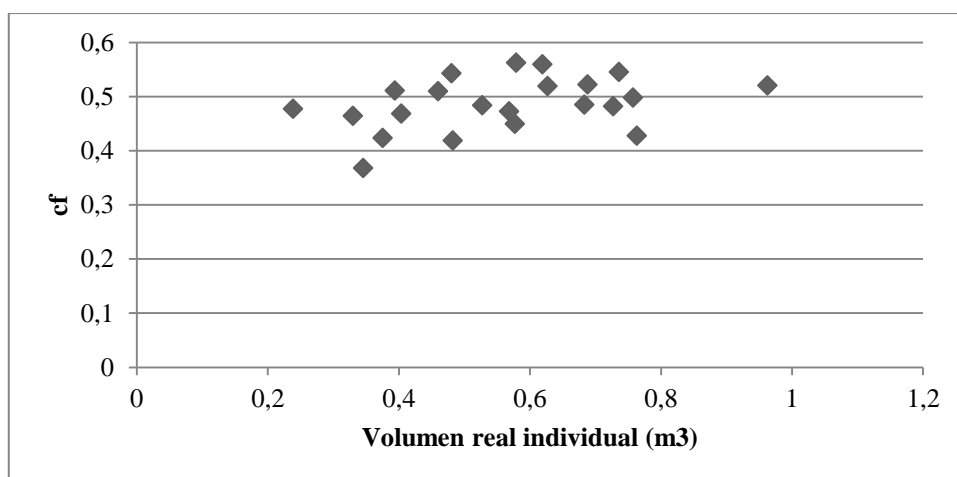


Fig. 10- Volumen real y Cf de cada árbol apeado.

Por otro lado, las proporciones medias calculadas a partir de la relación entre el área transversal total y la de cada año referido a los 16 años para cada sitio se muestran en el cuadro 3. La decisión de establecer esa edad de referencia se basó en que todos los individuos tenían más de 16 años, lo que permitió comparar todos los árboles sin importar cual fuera su edad. Además es la misma que fue tomada como de referencia para el índice de sitio.

Cuadro 3- Proporciones de crecimiento y CV hallados de cada sitio.

Sitio	valle		ladera alta		ladera baja	
Año	Promedio	cv %	Promedio	cv %	Promedio	cv %
2	0,00042	50,28	0,00029	22,80	0,00040	21,02
3	0,01	38,34	0,02	78,86	0,00	40,85
4	0,03	19,81	0,05	55,55	0,03	72,34
5	0,09	9,34	0,11	41,48	0,08	46,73
6	0,17	5,95	0,18	32,48	0,15	29,48
7	0,25	8,09	0,27	21,18	0,22	24,05
8	0,36	8,29	0,34	18,40	0,31	22,05
9	0,45	12,45	0,44	16,42	0,41	17,90
10	0,54	12,82	0,52	14,75	0,49	14,33
11	0,63	11,27	0,59	14,11	0,59	11,49
12	0,72	9,38	0,67	13,50	0,68	9,10
13	0,80	9,34	0,74	11,93	0,77	7,30
14	0,86	7,24	0,81	7,55	0,84	5,83
15	0,93	3,30	0,90	3,86	0,92	1,74
16	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
17	1,08	2,92	1,11	3,47	1,08	2,88
18	1,14	4,58	1,19	5,23	1,16	4,75
19	1,18	5,77	1,24	8,73	1,22	7,27
20	1,18	2,62	1,31	9,29	1,29	8,57
21	1,18		1,31	2,84	1,29	5,92
22	1,22		1,38	3,97	1,35	6,58
23	1,24		1,45	5,47	1,39	7,24
24	1,26		1,52	7,52	1,48	9,16
25	1,30		1,60		1,55	13,45
26	1,36		1,60		1,64	16,54
27	1,42		1,69		1,70	18,35

El uso de las proporciones de crecimiento se basa en conceptos de la cronodendrometría cuya esencia se basa en la interacción que existe entre los árboles y el medio en que estos crecen. El árbol crece como resultado del intercambio que existe entre éste y su medio ambiente: la luz, la temperatura y la humedad del aire y el suelo, en sus permanentes y cíclicos cambios temporales han permitido que los árboles sincronicen sus propios ciclos de crecimiento, a través de los procesos de fotosíntesis, activación de los procesos de asimilación y distribución de azúcares y aumento de la masa de tejido de sus órganos de crecimiento. Estos procesos tienen la forma de reacción en cadena a partir de las condiciones de reservas que hayan resultado del año anterior, existe por tanto una autocorrelación entre el crecimiento de un año y el siguiente. Aun cuando los cambios

ambientales se registran en pocos minutos y la planta reacciona a ello, el resultado final en términos de aumento de tejidos sólo se ve reflejado en uno o dos años de crecimiento. La formación de nuevos tejidos también se manifiestan con correlaciones entre los distintos tamaños que pueden alcanzar en un año de crecimiento, así por ejemplo la longitud de las acículas, longitud de las ramas, radios anuales de crecimiento, espesor de la pared celular presentan correlaciones en sus tasas de crecimiento. Así es como en los lugares donde existen fuertes variaciones estacionales los árboles reaccionan formando tejidos xilemáticos diferenciados en la época estival que hará que la vegetación presente diferencias marcadas en sus crecimientos, debido a las variaciones de temperatura y precipitación asociadas. Los árboles que han crecido en un mismo período de tiempo presentarán estas diferencias locales pero seguirán un patrón climático común, si es que están creciendo bajo un mismo patrón climático (Schweingruber, 1996).

Estos valores fueron empleados como estimadores del crecimiento pasado de los distintos sitios en reemplazo de mediciones en parcelas permanentes de muestreo. Como se puede observar los valores del coeficiente de variación (CV) decrecen en el tiempo alcanzando valores bajos en los últimos años, próximos al valor de referencia de 16 años. En los primeros años el crecimiento es variable debido principalmente al pequeño volumen que representa cada individuo respecto a su volumen final como consecuencia de las diferencias en altura (Fiandino, 2013). Luego la competencia entre individuos comienza a ser mayor, originando que la masa empiece a estratificarse por un desarrollo desigual de las copas donde los individuos más débiles comienzan a ahogarse y terminan muriendo, reduciendo así el número de individuos por superficie. A partir de ese momento el crecimiento comienza a ser menor pero semejante en los individuos que sobrevivieron (Vita Alonso, 1978) manifestándose como valores bajos de CV.

Obtenidos los datos de las proporciones de crecimiento, el volumen final y los coeficientes mórficos se confeccionaron las curvas de evolución del volumen en función del tiempo. Estas toman la forma de una curva sigmoidea, las cuales reflejan el crecimiento biológico de la especie. Al comienzo la tasa de crecimiento es baja, luego se acelera para finalmente tomar un comportamiento asintótico. Hasta el quinto año, el crecimiento es semejante en los tres ambientes, a partir de ese momento y como es de esperar, la tasa de crecimiento en el valle es mayor, seguida por la ladera baja y la ladera alta es la que posee menor tasa de crecimiento. Esto responde a que las masas en los mejores ambientes pueden explorar más volumen de suelo y absorber más agua y nutrientes que en peores ambientes. Se puede observar también que en los periodos de crecimiento comprendidos entre los años 19-20 y 20-21 se produce una disminución considerable del crecimiento, para luego continuar con la tendencia. Este hecho se manifestó en todos los arboles medidos en los

cuales se observaba una disminución en la anchura de los anillos de crecimiento y un posterior ensanchamiento, como se aprecia en la figura 11. Schweingruber, (1996) estudiando el comportamiento de los anillos de crecimiento ante diferentes intensidades lumínicas producidas por la competencia de este recurso entre árboles vecinos, encontró un comportamiento semejante al observado en este caso. Pudo determinar periodos de sombreamiento y crecimiento libre que se manifiestan como un gradual estrechamiento de los anillos, para luego de superado el estrés, un ensanchamiento posterior.

Finalmente los volúmenes reales con corteza hallados son 449 m³/ha en el valle, 335 m³/ha en la ladera baja y 237 m³/ha en la ladera alta.

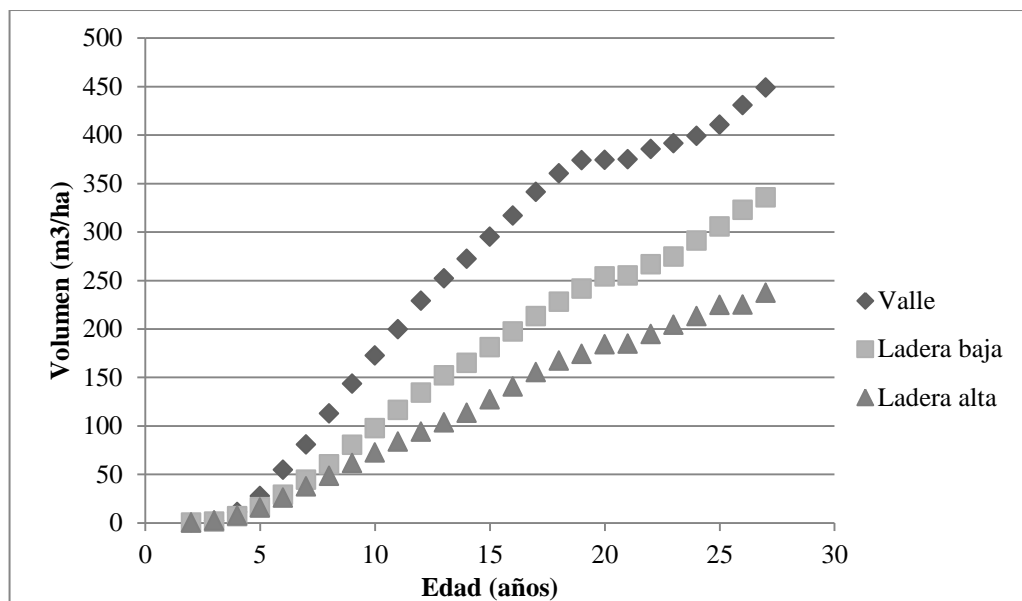


Fig. 11- Evolución del volumen observado en función del tiempo para los 3 sitios.

La densidad real hallada presenta gran variabilidad dentro de los sitios, observándose valores cuyos rangos se encuentran entre 555-987 árboles/ ha., en el valle, 400-1020 árboles/ ha, en la ladera baja y 250- 925 árboles/ ha, en la ladera alta; ocasionados por las diferentes edades presentes en cada sitio.

Si en cambio se relaciona la densidad con la edad de la masa se puede observar que esta disminuye a medida que aumenta la edad (figura 12). En términos teóricos este fenómeno se sustenta en la ley del autorraleo (Reineke, 1933; Yoda *et al.* 1963) que explica que cualquier rodal puro, bien poblado y de edad uniforme, tiene aproximadamente el mismo número de árboles por unidad de superficie que cualquier otro rodal puro, bien poblado y de edad uniforme de la misma especie y que tenga el mismo diámetro promedio que aquél. Esta ley analiza la mortalidad ocasionada por competencia extrema en condición de plena ocupación de un sitio. En rodales no raleados el número de árboles por hectárea respondería

a esta ley, y teniendo en cuenta que esta es una situación normal en las plantaciones de la región el número de individuos debería ser semejante.

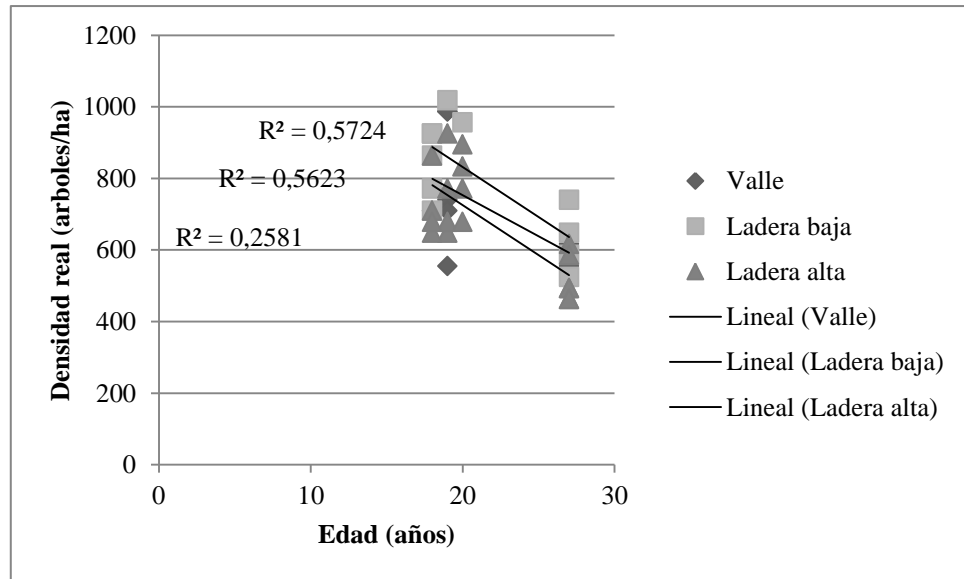


Fig. 12- Evolución de la densidad real en el tiempo.

Ajuste del modelo

En esta sección se presenta la modelización del índice de densidad relativo (DR) y el ajuste de los parámetros del modelo desarrollado por Mitchell y Cameron (1985) para predecir volumen, a partir de los datos obtenidos en las secciones anteriores.

En las figuras 13, 14 y 15 se observa la nube de puntos y la línea de regresión ajustada para el índice de densidad relativo de cada sitio.

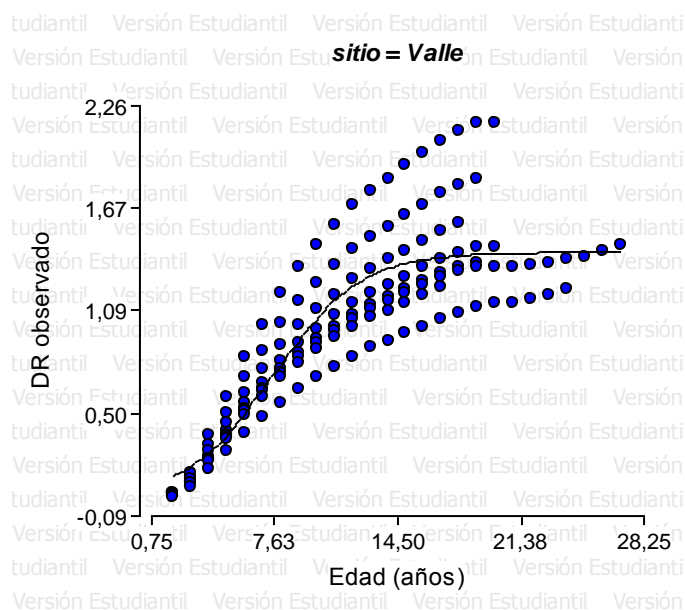


Fig. 13- Dispersión de los valores de DR y línea de tendencia para el valle.

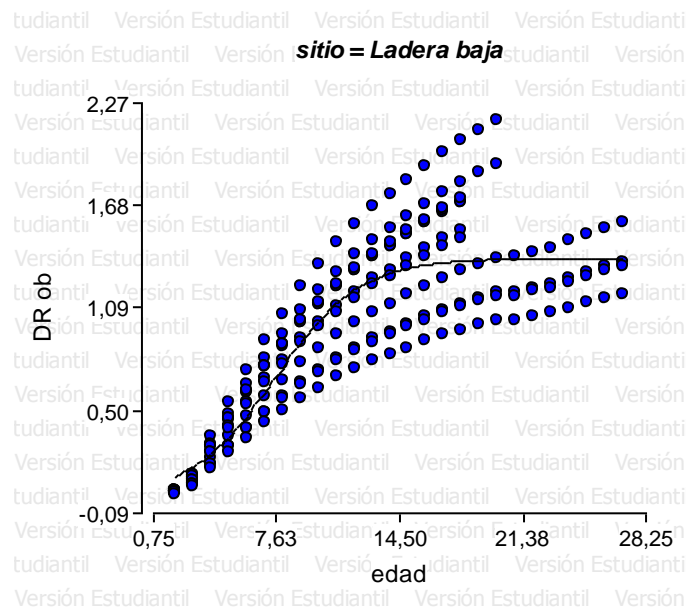


Fig. 14- Dispersión de los valores de DR y línea de tendencia para ladera baja.

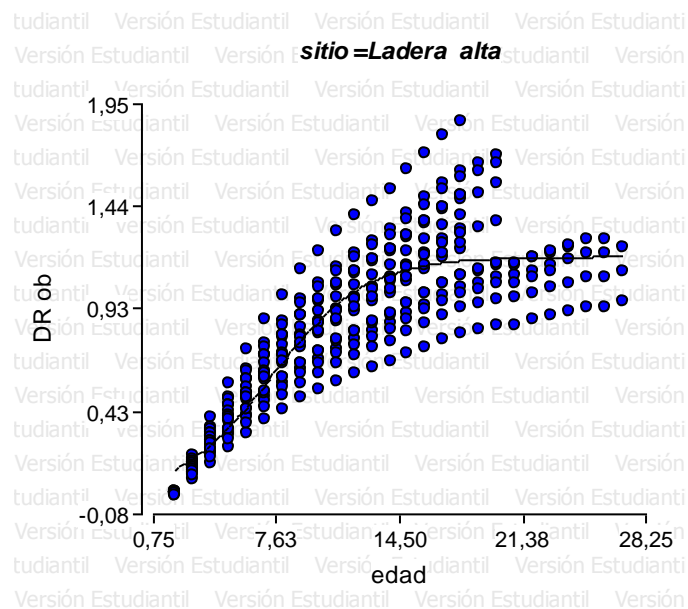


Fig. 15- Dispersión de los valores de DR y línea de tendencia para la ladera alta.

En concordancia con lo expresado por Andenmatten *et al.* (2013), y como se puede apreciar en los gráficos, el DR evoluciona en forma creciente hasta alcanzar un valor

máximo donde se estabiliza. Este comportamiento se sustenta en el principio biológico del autoaclareo de los rodales regulares bajo condiciones de alta competencia intra-específica y sostiene que cuando un rodal ha alcanzado el valor máximo de carga se autorregula mediante el proceso de mortalidad natural, manteniendo el rodal en valores de densidad relativa máxima.

Los parámetros del modelo obtenidos son los siguientes:

Cuadro 4- Parámetros ajustados del modelo logístico para simular el DR.

SITIO	PARAMETROS		
	ALFA	BETA	GAMA
Valle	1,42	20,83	0,41
Ladera baja	1,38	23,73	0,42
Ladera alta	1,19	15,56	0,38

Los estadísticos descriptivos fueron calculados con un alto nivel de significancia ($p < 0,05$).

Cuadro 5- Estadísticos descriptivos de los parámetros del índice de densidad relativo (DR).

SITIO	P-VALOR		
	ALFA	BETA	GAMA
Valle	<0,0001	0,0015	<0,0001
Ladera baja	<0,0001	0,0004	<0,0001
Ladera alta	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Para ajustar el modelo de Mitchell y Cameron (1985) se utilizaron los datos de volumen real observados y se los relaciono con la altura y el índice de densidad relativa. Los valores de los parámetros y su nivel de significación estadística para cada uno de los sitios se presentan en los cuadros 6 y 7.

Cuadro 6- Parámetros ajustados del modelo.

SITIO	PARAMETROS			ERROR ESTANDAR ESTIMACION		
	ALFA	BETA	GAMA	ALFA	BETA	GAMA
Valle	45,59	0,56	1,28	5,03	0,04	0,04
Ladera baja	10,63	1,1	0,92	1,01	0,04	0,02
Ladera alta	19,89	0,81	1,44	5,73	0,12	0,12

Cuadro 7- Estadísticos descriptivos de los parámetros.

SITIO	P-VALOR			R ²	CM error
	ALFA	BETA	GAMA		
Valle	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,97	666
Ladera baja	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,97	233
Ladera alta	0,0007	<0,0001	<0,0001	0,96	570

Los parámetros de estas funciones fueron estimados con un alto nivel de significación ($p < 0,05$). El valor del *CMError* calculado fue de 666 para el valle, 233 para la ladera baja y 570 para la ladera alta. Correspondiendo a un 5,17% del volumen total en el valle (26 m³/ha), 4,8% en la ladera baja (15,3 m³/ha) y 10% en la ladera alta (23 m³/ha). Esto indica que con dichos modelos se comete un error medio bajo. Los R² estimados determinan que el nivel de ajuste al crecimiento observado es alto como se observa en la figura 16.

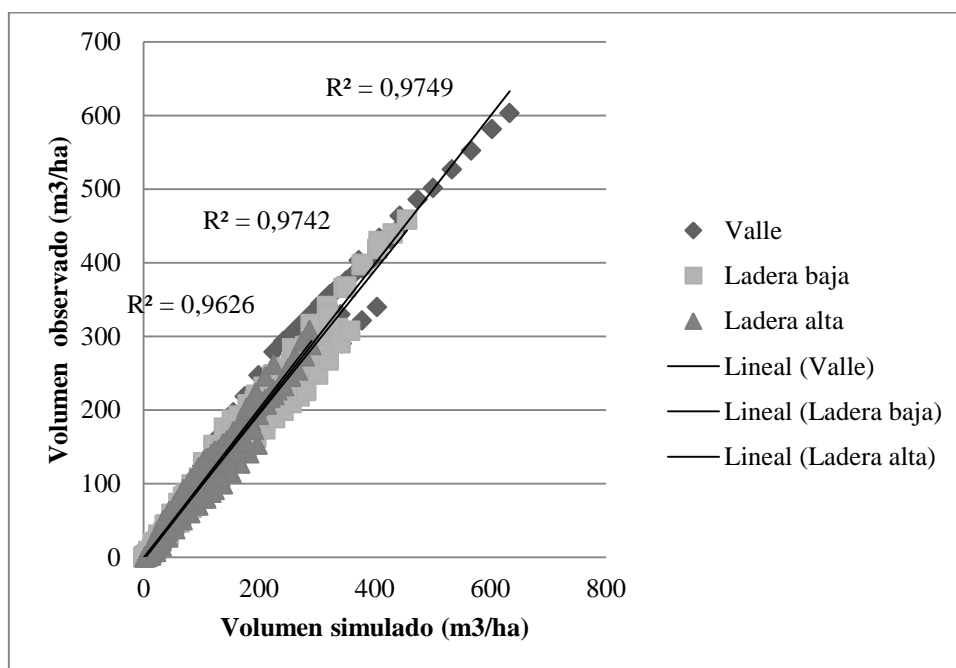


Fig. 16- Coeficiente de determinación R².

Finalmente las curvas de volumen en función del tiempo obtenidas como salida del modelo se asemejan a las observadas, tomando la forma de una función logística y reflejando el crecimiento biológico de la especie.

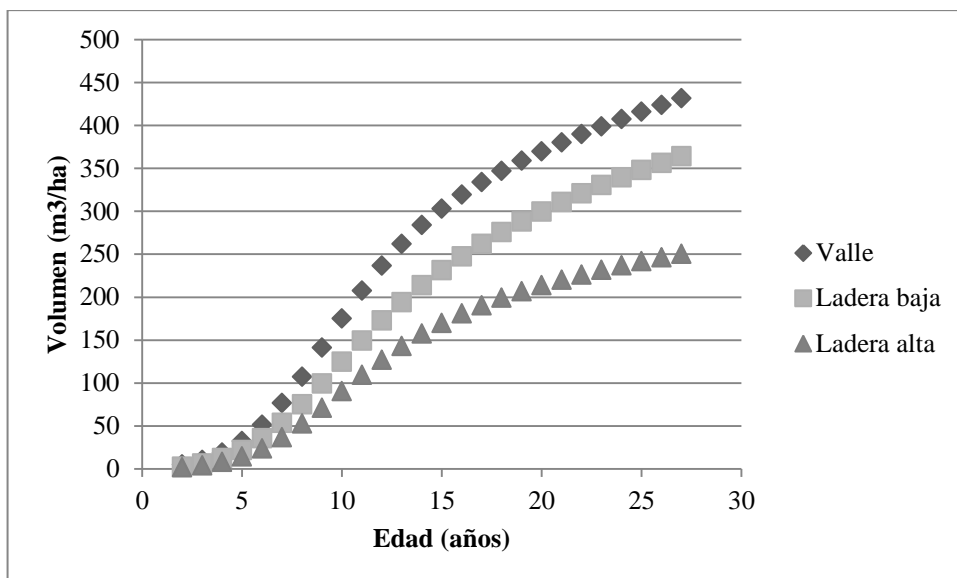


Fig. 17- Evolución del volumen simulado en función del tiempo.

Validación del modelo

La validación del modelo se realizó comparando los valores estimados por este con datos de parcelas de árboles que no fueron utilizadas en su construcción.

La bondad de ajuste (R^2) fue alta tomando valores de 0,97 para el valle, 0,99 para la ladera baja y 0,87 para la ladera alta. La relación lineal entre los valores observados y estimados presento valores de pendiente de 1,6 para el valle, 1,1 para la ladera baja y 0,93 para la ladera alta, que permiten demostrar que existe un sesgo de estimación con tendencia a sobreestimar los valores de volumen en el valle y ladera baja, y a sub estimar en la ladera alta para las edades analizadas.

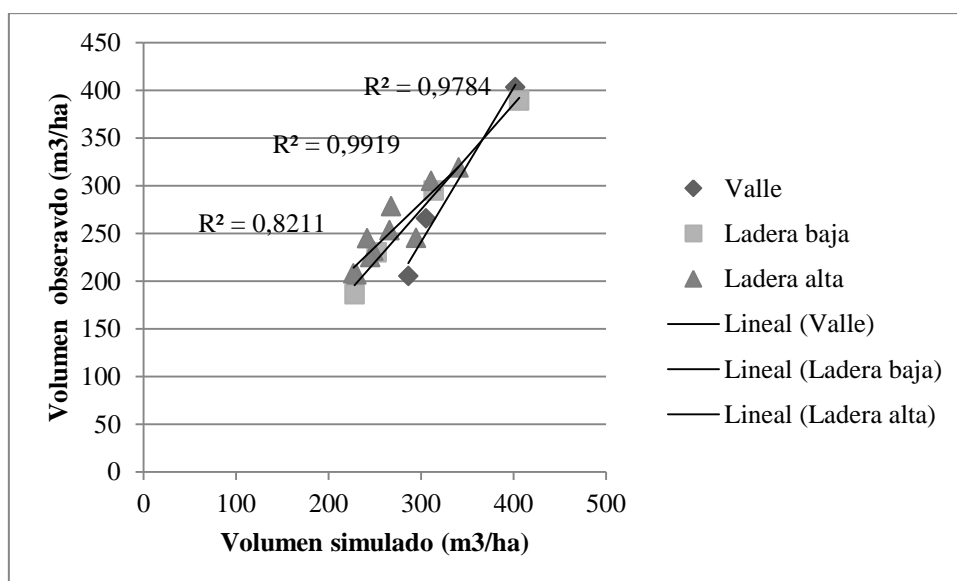


Fig. 18- Coeficiente de determinación R^2 .

El error absoluto medio fue 39 m³/ha (13,7%) para el valle, 25 m³/ha (9%) para la ladera baja y 15 m³/ha (6,3%) para la ladera alta.

Debido a que el valle representa una proporción baja respecto a la superficie total, las parcelas remantes no fueron suficientes para realizar una validación que arrojar resultados confiables. Esta problemática fue planteada por Kozak, *et al* (2003) argumentando que la escasez de datos independientes constituye un problema a la hora de validar los modelos ya que recabarlos cuesta tiempo y dinero. No obstante, se presentan los datos de estas 3 parcelas. Por el contrario, en las laderas si se contó con datos independientes suficientes para validar el modelo.

Tabla de producción

La tabla de producción que aquí se presenta es conocida como tabla de existencias normales, elaborada a partir de los resultados de los modelos ajustados y validados permiten caracterizar rodales regulares cuyo objetivo era maximizar la producción de madera por unidad de superficie, para lo que se construyeron a partir de los tradicionalmente denominados “rodales normales”, es decir, aquellos con un elevado número de pies y cuya evolución venía regulada por la mortalidad natural debida a la competencia (Madrigal, 1999).

A continuación se presentan las tablas de producción desarrolladas para *Pinus elliottii*. Cada una corresponde a uno de los sitios en los que crecen los rodales, la información que contienen es la altura dominante (m), el área basimétrica (m²/ha), el diámetro normal medio (cm) y el volumen (m³/ha). Además, se agregaron los valores de incremento corriente anual (ICA) (m³/ha/año) e incremento medio anual (IMA) (m³/ha/año) que permiten conocer el valor máximo técnico. Este valor representa un óptimo biológico de la especie y sienta las bases para la oportunidad de establecer tratamientos silvícolas (cortas intermedias o cosecha final).

Cuadro 8- Tabla de producción para el valle con índice de sitio 15,5 m a los 16 años.

Sitio Valle IS: 15,5m

Variables de entrada							
Tiempo	H0	DR	AB	DN m	V	IMA	ICA
2	1,76	0,14	0,07	0,51	5,03	2,51	
3	2,74	0,20	0,39	1,95	10,24	3,41	5,21
4	3,74	0,28	1,30	4,61	18,85	4,71	8,62
5	4,75	0,39	2,82	7,30	32,22	6,44	13,37
6	5,76	0,51	5,25	10,28	51,44	8,57	19,22
7	6,77	0,65	8,14	12,49	76,82	10,97	25,37
8	7,78	0,80	11,75	14,76	107,38	13,42	30,57
9	8,78	0,93	15,54	16,64	141,02	15,67	33,63
10	9,77	1,06	19,27	18,26	175,11	17,51	34,09
11	10,75	1,16	22,70	19,64	207,40	18,85	32,30
12	11,73	1,23	25,93	21,03	236,53	19,71	29,13
13	12,69	1,29	28,46	22,07	262,01	20,15	25,48
14	13,64	1,33	30,53	22,94	284,00	20,29	21,98
15	14,58	1,36	32,46	23,88	302,95	20,20	18,96
16	15,51	1,38	34,13	24,75	319,44	19,96	16,48
17	16,42	1,39	35,76	25,68	333,97	19,65	14,53
18	17,33	1,40	36,99	26,39	346,98	19,28	13,02
19	18,22	1,41	37,84	26,88	358,83	18,89	11,84
20	19,09	1,41	37,97	26,89	369,75	18,49	10,92
21	19,96	1,41	38,08	26,92	379,95	18,09	10,20
22	20,81	1,42	38,65	27,29	389,56	17,71	9,61
23	21,64	1,42	38,99	27,50	398,69	17,33	9,13
24	22,47	1,42	39,38	27,77	407,41	16,98	8,72
25	23,28	1,42	39,97	28,17	415,77	16,63	8,36
26	24,07	1,42	40,95	28,85	423,82	16,30	8,05
27	24,86	1,42	41,81	29,45	431,58	15,98	7,77

Referencias: tiempo (años), HO altura dominante (m), DR índice de densidad relativa, AB área basimétrica (m²/ha), DN m diámetro normal medio (cm), V volumen (m³/ha), IMA incremento medio anual (m³/ha/año) e ICA incremento corriente anual (m³/ha/año).

Cuadro 9- Tabla de producción para la ladera baja con índice de sitio 13,6 m a los 16 años.

Sitio Ladera baja IS: 13,6m

Variables de entrada							
Tiempo	H0	DR	AB	DN m	V	IMA	ICA
2	1,64	0,12	0,05	0,44	2,66	1,33	
3	2,62	0,18	0,28	1,56	6,29	2,10	3,63
4	3,62	0,25	1,03	4,04	12,44	3,11	6,15
5	4,62	0,35	2,21	6,26	21,99	4,40	9,54
6	5,60	0,47	4,00	8,44	35,63	5,94	13,64
7	6,56	0,61	6,42	10,48	53,58	7,65	17,95
8	7,49	0,76	9,25	12,23	75,29	9,41	21,71
9	8,38	0,90	12,63	14,11	99,53	11,06	24,24
10	9,24	1,02	15,83	15,55	124,72	12,47	25,19
11	10,07	1,12	18,99	16,98	149,45	13,59	24,73
12	10,86	1,20	21,82	18,24	172,75	14,40	23,31
13	11,61	1,25	24,33	19,41	194,18	14,94	21,43
14	12,33	1,29	26,17	20,22	213,65	15,26	19,47
15	13,02	1,32	28,02	21,19	231,29	15,42	17,65
16	13,67	1,34	29,67	22,11	247,34	15,46	16,04
17	14,29	1,35	31,14	22,99	262,01	15,41	14,67
18	14,88	1,36	32,40	23,77	275,52	15,31	13,51
19	15,44	1,37	33,49	24,47	288,04	15,16	12,52
20	15,97	1,37	34,45	25,10	299,70	14,98	11,66
21	16,47	1,38	34,59	25,15	310,61	14,79	10,91
22	16,95	1,38	35,40	25,71	320,86	14,58	10,24
23	17,40	1,38	35,95	26,09	330,50	14,37	9,64
24	17,82	1,38	37,05	26,87	339,59	14,15	9,09
25	18,23	1,38	37,97	27,53	348,17	13,93	8,58
26	18,61	1,38	39,02	28,29	356,27	13,70	8,11
27	18,97	1,38	39,80	28,85	363,94	13,48	7,66

Referencias: tiempo (años), HO altura dominante (m), DR índice de densidad relativa, AB área basimétrica (m²/ha), DN m diámetro normal medio (cm), V volumen (m³/ha), IMA incremento medio anual (m³/ha/año) e ICA incremento corriente anual (m³/ha/año).

Cuadro 10- Tabla de producción para la ladera alta con índice de sitio 13,6 m a los 16 años.

Sitio Ladera alta IS: 11,9 m

Variables de entrada							
Tiempo	H0	DR	AB	DN m	V	IMA	ICA
2	1,58	0,14	0,05	0,37	1,77	0,88	
3	2,45	0,20	0,54	2,72	4,03	1,34	2,26
4	3,32	0,27	1,37	5,08	7,99	2,00	3,96
5	4,18	0,36	2,61	7,30	14,40	2,88	6,41
6	5,01	0,46	4,31	9,40	23,92	3,99	9,52
7	5,82	0,57	6,44	11,30	36,86	5,27	12,94
8	6,61	0,68	8,77	12,86	52,93	6,62	16,07
9	7,37	0,79	11,42	14,49	71,22	7,91	18,29
10	8,10	0,88	13,88	15,73	90,45	9,05	19,23
11	8,80	0,96	16,23	16,89	109,40	9,95	18,94
12	9,48	1,02	18,32	17,90	127,14	10,59	17,74
13	10,13	1,07	20,14	18,80	143,19	11,01	16,05
14	10,75	1,11	21,76	19,67	157,41	11,24	14,22
15	11,35	1,13	23,57	20,83	169,89	11,33	12,49
16	11,92	1,15	25,17	21,91	180,85	11,30	10,96
17	12,47	1,16	26,75	23,03	190,52	11,21	9,67
18	12,99	1,17	27,98	23,91	199,13	11,06	8,60
19	13,49	1,18	28,69	24,39	206,86	10,89	7,73
20	13,97	1,18	29,61	25,07	213,87	10,69	7,02
21	14,43	1,18	29,72	25,10	220,30	10,49	6,42
22	14,86	1,19	30,55	25,77	226,23	10,28	5,93
23	15,28	1,19	31,33	26,40	231,73	10,08	5,51
24	15,68	1,19	32,05	26,98	236,87	9,87	5,14
25	16,06	1,19	32,92	27,70	241,70	9,67	4,82
26	16,42	1,19	32,96	27,72	246,23	9,47	4,54
27	16,76	1,19	33,84	28,45	250,51	9,28	4,28

Referencias: tiempo (años), HO altura dominante (m), DR índice de densidad relativa, AB área basimétrica (m²/ha), DN m diámetro normal medio (cm), V volumen (m³/ha), IMA incremento medio anual (m³/ha/año) e ICA incremento corriente anual (m³/ha/año).

Del análisis de los datos se desprende que el valor máximo técnico (IMA=ICA), donde se debería haber intervenido el rodal se encuentra entre los 15 y 16 años para los 3 sitios. Fiandino (2013), estudiando el crecimiento de una cortina forestal en la localidad de San Basilio, Córdoba encontró que el valor máximo técnico se producía a una edad de 17 años, mientras que Plevich, (2016) en sistemas silvopastoriles en callejones encontró en las cortinas forestales (con alta densidad) que lo constituyen ocurre a los 13 años. El periodo se puede alargar o acortar dependiendo de la densidad y de la calidad del sitio.

El incremento corriente anual máximo se produce a los 10 años en el valle y la ladera baja con un valor de 34 m³/ha. y 25 m³/ha respectivamente, en la ladera alta ocurre 2 años más tarde y toma un valor de 13,8 m³/ha, curiosamente en este sitio es donde se produce la menor disminución de crecimiento a lo largo del tiempo; posiblemente este hecho se manifiesta por la mayor radiación que reciben los arboles al estar en la posición más alta de la toposecuencia, sin tener periodos de sombreadamiento durante el día ni en las distintas estaciones.

En los rodales más añejos, considerando que la acumulación de volumen anual es baja, que los individuos presentan diámetros promedios superiores a los 28 cm, y teniendo en cuenta además la pérdida de individuos de alto valor maderable causada por la mortalidad natural, sería conveniente realizar la cosecha de los montes.

CONCLUSIONES

Las tablas de producción aquí desarrolladas presentan un avance importante en el proceso de generar información sobre la especie exótica con mayor superficie implantada en la región de la Sierra de Comechingones. Mediante estas tablas el productor forestal podrá conocer el volumen de madera que existe en sus plantaciones, y podrá también planificar los tratamientos silviculturales oportunos.

El hecho de dividir los rodales en diferentes sitios permitió conocer mejor la dinámica de crecimiento en cada uno, generar información más precisa de la zona y además, disminuir los esfuerzos de muestreo.

Debido a la similitud de los valores de DAP los árboles necesarios para estimar el crecimiento de las masas fue bajo, sin embargo, como los individuos más viejos fueron pocos, los datos de crecimiento a partir de los 20 años debería ser aumentado para generar más confianza en las estimaciones, especialmente en la zona de valles. Este hecho fue ocasionado por no conocer con exactitud la edad de las masas antes de realizar el apeo.

Las proporciones de crecimiento obtenidas a partir de los anillos de crecimiento mostraron ser semejantes en todos los individuos muestreados. El método de estimación del crecimiento mediante las proporciones es una fuente de información útil y precisa cuando no existen datos de parcelas permanentes de muestreo.

El modelo propuesto en este trabajo, al poseer 2 variables se puede ajustar con mediciones de bajo costo. Además el empleo del índice de densidad relativa (DR) sintetiza otros estimadores del crecimiento usualmente empleados como son el AB y el Dg que de manera indirecta reflejan la evolución del número de pies por hectárea.

Si bien en el valle las parcelas no alcanzaron el mínimo para realizar la validación, en los otros ambientes el modelo mostro un comportamiento semejante al observado, con un error de estimación bajo y una bondad de ajuste global alta (R^2) 0,86. Esto permite intuir que en dicho ambiente el comportamiento debería ser semejante pero, para corroborar esto, se deberían inventariar más parcelas.

Considerando los valores de IMA e ICA encontrados sería oportuno realizar la cosecha de los rodales más antiguos, ya que la acumulación de volumen en el tiempo es baja, sumado a la pérdida de individuos de alto valor maderable como consecuencia de la mortalidad natural.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ AGUIRRE, O.A. 1990. *Elaboración de tablas de producción en base a parcelas temporales de muestro*. Facultad de ciencias forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 67 p.
- ✓ ANDENMATTEN, E., L.M. CHAUCHARD y F. LETOURNEAU. 2013. Modelización del crecimiento y la producción de los rodales a través de Índices de Densidad. *OmniaScience Monographs*. p: 109-124.
- ✓ BAROTTO, O.M., M.A. DEMAESTRI, 2008. *Guía de Pináceas*. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Depto. Producción Vegetal, Catedra de Dasonomía, UNRC. 15 p.
- ✓ BONILLA, J.A. 1969. Fórmulas de cubicación de los arboles: estudio comparativo. **Congreso forestal Argentino**. Buenos Aires (Argentina). 6-11 Oct. 1969. p 489-492.
- ✓ CLUTTER, J., J. FORSTON, L. PINEAAR, G. BRISTER y R. BAILEY. 1992. *Timber Management: A Quantitative Approach*. Ed. Krieger Pub. Com. (reedited), 333 p.
- ✓ CRECENTE CAMPO, F. 2008. *Modelo de crecimiento de árbol individual para Pinus radiata D. Don en Galicia*. Tesis Doctoral. Universidad Santiago de Compostela. 120p.
- ✓ DE LA FUENTE E., A. VELAZQUEZ MARTINEZ, A. TORRES ROJO, J.M. RAMIREZ MALDONADO, H. RODRIGUEZ FRANCO Y C. TRINIDAD SANTOS. 1998. Predicción del crecimiento y rendimiento de *Pinus rudis* ENDL en pueblos mancomunados, IXTLAN, OAXACA. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 23, (84): 3-8.
- ✓ DIÉGUEZ ARANDA, U., A. ALBORECA ROJO, F. CASTEDO-DORADO, J.G. ÁLVAREZ GONZÁLEZ, M. BARRIO-ANTA, F. CRECENTE-CAMPO, J.M. GONZÁLEZ, C. PÉREZ-CRUZADO, R. RODRÍGUEZ SOALLEIRO y C.A. LÓPEZ-SÁNCHEZ. 2009. *Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia*. Ed. Dirección Xeral de Montes, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. 259 p.
- ✓ DIMITRI, M. J. 1977. *Libro del Árbol*. Celulosa Argentina. Bs. As. 144 p.
- ✓ DI RIENZO J. A., CASANOVES F., BALZARINI M. G., GONZALEZ L., TABLADA M. Y C. W. ROBLEDO. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- ✓ DONOSO, C. 1992. *Ecología Forestal; el bosque y su medio ambiente*. 5^{ta} ed. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 369 p.

- ✓ FARJON, A. 2013. *Pinus elliottii* . La Lista Roja de especies amenazadas de la UICN. En [Http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42361A2975203.en](http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42361A2975203.en)
consultado el 19-07-2017.
- ✓ FIANDINO, S.I. 2013. *Parametrización de funciones de crecimiento para Pinus elliottii del bosque comunal de la localidad de San Basilio, Córdoba, Argentina*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Río Cuarto. 48 p.
- ✓ FREESE, F. 1967. *Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales*. 1^{ra} ed. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia Para el Desarrollo Internacional, EE.UU. 105 p.
- ✓ GAILLARD DE BENITEZ, C. y M.G, PECE. 2011. Muestreo y técnicas de evaluación de vegetación y fauna. *Serie didáctica 27*. Universidad nacional de Santiago del Estero. 77 p.
- ✓ GARCÍA, O. 1994. *El enfoque del espacio de estados en modelos de crecimiento* (The State Space approach in growth modelling. Can. Jor. For. Res. 24: 1894-1903). Traducción de O. García.
- ✓ GASTÓ, J., SILVA, F., Y COSIO, F. 1990. Sistema de Clasificación de Pastizales de Sudamérica. *Sistemas en Agricultura*, 9:1-92.
- ✓ GENÉ, C., J. M. ESPELTA, M. GRACIA y J. RETANA. 1993. *Identificación de los anillos anuales de crecimiento de la encina (Quercus ilex L.)*. *Orsis* 8: 127-139.
- ✓ IBÁÑEZ, E.E. Y M. OTAOLA-URRUTXI TEJERA. 2014. Primeros datos de crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Balmaseda, para un régimen de claras fuerte y turno de 25 años. *Foresta* 55: 129–133.
- ✓ IFONA. 2004. Instituto nacional forestal. *Fichas técnicas de especies nativas e implantadas de Argentina*. Buenos aires, Argentina.
- ✓ IMAÑA, E. y B. ENCINAS. 2008. *Edometría Forestal*. 1^{ra} ed. Brasilia: Universidad de Brasil, Departamento de Engenharia Florestal Merida: Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 68 p.
- ✓ INTA. 1995. *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Publicación digital.
- ✓ INTA. 1994. *Carta de Suelos de la República Argentina*. Hoja Alpa Corral 3366-18 y Rio de los Sauces 3366-12.
- ✓ IZURIETA G., D. ABUD y J. IZAURRALDE. 1993. Plantaciones de pinos de la provincia de Córdoba. **Actas del congreso forestal argentino y latinoamericano**. A. Fo .A. Entre Ríos, Argentina. p: 364-374.
- ✓ MADRIGAL, A., J.G. ÁLVAREZ GONZÁLEZ, R. RODRÍGUEZ, R. SOALLEIRO y A. ROJO. 1999. *Tablas de producción para los montes españoles*.

- Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid. 253 p.
- ✓ MITCHELL, K.J. y I.R. CAMERON. 1985. “*Managed Stand Yield Tables for Coastal Douglas-Fir: Initial Density and Precommercial Thinning*”. Land Management Report Number 31. B.C. Ministry of Forests Research Branch. 69 p.
 - ✓ PLEVICH J.O., S.I. FIANDINO, P. SHORTREDE, J. TARICO Y M. UTELLO. 2016. Funciones de crecimiento para *Pinus elliottii* Englem. en sistemas silvopastoriles de la llanura ondulada del sur-oeste de Córdoba. **XVII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales**. 2016, Posadas, Misiones. Producción Forestal Primaria. p: 230-232.
 - ✓ PRODAN, M., R. PETERS, F. COX, Y P. REAL. 1997. *Mensura Forestal*. IICA. 512 p
 - ✓ REINEKE, L. H. 1933. *Perfecting a stand-density index for even-aged forests*. US Government Printing Office Washington, DC. 638 p.
 - ✓ ROJO, A., J.G. ALVAREZ-GONZALEZ, J.A GRANDAS Y U. DIÉGUEZ ARANDA. 2005. Tablas de producción de selvicultura media para el abedul (*Betula alba* L.) en Galicia. **4º congreso forestal Español**, Zaragoza. p: 26-30.
 - ✓ RIVAROLA, A., R. SEILER, Y M. VINOCUR. 2015. Datos climáticos de Las Guindas: serie de 15 años. Servicio de Agrometeorología. FAV, UNRC.
 - ✓ SAGPyA SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTACIÓN 1999a. *Bosques Cultivados. Desarrollo Productivo de la Madera. Proyecto B7-3011/93/156. Programa de Cooperación "Comisión de la Unión Europea Argentina"*. Bs. As. Argentina.
 - ✓ SAGPyA SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTACIÓN 1999b. *Argentina, oportunidades de inversión en bosques cultivados. Proyecto Forestal de Desarrollo*. Bs. As. Argentina.
 - ✓ SAGPyA. 2017c. Desarrollo foresto industrial. En: http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/archivo_s/normativas/ley25080.pdf
Consultado: 11-12-17.
 - ✓ SANCHEZ, F., R. RODRIGUEZ, A. ROJO, J.G. ALVAREZ, C. LOPEZ, J. GORGOSO, Y F. CASTEDO. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigación agraria: sistema recursos forestales*.12 (2): 65–83.
 - ✓ SCHINDELIN, J., C.T. RUEDEN y M.C. HINER. 2015. " El ecosistema ImageJ: una plataforma abierta para el análisis de imágenes biomédicas ", *Molecular Reproduction and Development* , PMID 26153368

- ✓ SCHWEINGRUBER, F. H. 1996. *Tree rings and environment: dendroecology*. Paul Haupt AG Bern. Bern , Switzerland. 609 p.
- ✓ SECRETARIA CORDOBA AMBIENTE, e INTA MANFREDI. 2006. *Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: Los Suelos*. Publicación digital. 241p y 66p.
- ✓ VITA ALONSO, A. 1978. *Los tratamientos silviculturales*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 234 p.
- ✓ VON GADOW, K. Y G. HUI. 1999. *Modelling forest development*. Kluwer Academic Publishers. Londres. 213 p.
- ✓ YODA, K. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants. XI). *Journal of Biology, Osaka City University*. 14 :107-129.
- ✓ KOZAK, A. Y R. KOZAK. 2003. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models?. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(6): 976-987.
- ✓ ZUPAN, E. 2013. *Aproximación a la evaluación de los daños causados por los incendios que afectaron los macizos forestales del departamento Calamuchita*. Ministerio de agroindustria. Presidencia de la Nación. Subsecretaria de Desarrollo foresto- industrial. Córdoba forestal.