

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO
NATURAL

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE MONTES

EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Quercus
palustris* Muenchh. (ROBLE ROJO AMERICANO)
EN EL NORTE DE URUGUAY.



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Autor: Jose Antonio Forte Gil

Tutor UDELAR: Alejandro Olivera, Ing. Agr. PhD.

Tutor UPV: Eduardo Rojas Briales

Curso 2018-2019

Uruguay

Resumen

Este trabajo se ha centrado en el estudio del crecimiento y producción de madera de *Quercus palustris*, uno de los robles rojos americanos, con el fin de cuantificar el crecimiento de esta especie en el Norte de Uruguay, y así generar información para el potencial uso de esta especie como alternativa en plantaciones forestales en Uruguay.

Para la realización del estudio se ha procedido a la medición de los árboles, después, mediante un análisis estadístico se determinó la mejor ecuación de cubicación de entre todos los modelos de ecuaciones simulados. Asimismo, se ha realizado un estudio dendrométrico de diferentes clases diamétricas, para poder estudiar el crecimiento de la especie y determinar en qué momento hay que realizar claras yclareos, con el fin de aumentar la calidad y de la madera.

Los resultados obtenidos indican que la especie mantiene una tasa de crecimiento similar en las parcelas estudiadas. De los modelos de ecuaciones estudiados el que más se ajusta es el que utiliza como variable independiente el diámetro a la altura del pecho al cuadrado multiplicado por la altura ($V = b_0 + b_1dap^2h$).

Palabras clave: ecuaciones de volumen, *Quercus palustris*, dendrocronología, clases diamétricas, DAP, regresión lineal.

Abstract

This work has focused on the study of the growth and production of wood of *Quercus palustris*, one of the American red oaks, in order to quantify the growth of this species in northern Uruguay, and thus generate information for the potential use of this species as an alternative in forest plantations in Uruguay.

In order to carry out the study, the trees were measured and then, by means of a statistical analysis, the best cubication equation was determined among all the models of simulated equations. In addition, a dendrometric study of different diameter classes has been carried out in order to study the growth of the species and determine at what moment clearings and thinnings should be carried out in order to increase the quality of the wood.

The results obtained indicate that the species maintains a similar growth rate in the plots studied. Of the models of equations studied, the one that best fits is the one that uses as an independent variable the diameter at chest height squared multiplied by height ($V = b_0 + b_1dap^2h$).

Key words: volume equations, *Quercus palustris*, dendrochronology, diameter classes, DAP, linear regression.

Índice

1. Introducción	8
2. Objetivos	12
2.1. Objetivos generales	12
2.2. Objetivos secundarios.....	12
3. Revisión bibliográfica	13
3.1. Descripción de la especie	13
3.1.1. Propiedades físico-mecánicas.....	14
3.1.2. Desarrollo de las plántulas	14
3.1.3. Distribución natural.....	15
3.1.4. Ecología	16
3.1.5. Agentes dañinos.....	16
3.1.6. Usos especiales	17
3.2. Cálculo de volumen.....	17
3.3. Ecuaciones de volumen.....	18
3.4. Análisis de regresión lineal.....	20
4. Material y métodos	21
4.1. Ubicación área de estudio.....	21
4.1.1. Localización	21
4.1.2. Clima	21
4.1.3. Hidrología.....	22
4.1.4. Suelos.....	22
4.2. Delimitación de parcelas	24
4.3. Toma de datos de árboles en pie	25
4.4. Toma de datos sobre pies tumbados	26
4.5. Cálculo de volúmenes individuales	27
4.6. Análisis estadístico.....	27
4.7. Medición de anillos de crecimiento	28
5. Resultados.....	30
5.1. Obtención de datos.....	30
5.2. Cálculo del volumen individual	31
5.3. Modelos de ecuaciones.....	32
5.4. Análisis estadístico	33
5.4.1. Coeficiente de determinación R^2	34

5.4.2.	Prueba de significancia del conjunto de variables (F)	35
5.4.3.	Prueba de significancia de los coeficientes del modelo de regresión (T-Student)	35
5.5.	Análisis medición de anillos de crecimiento.....	36
5.5.1.	Coeficiente de determinación R^2	40
5.5.2.	Prueba de significancia del conjunto de variables (F)	40
5.5.3.	Prueba de significancia de los coeficientes del modelo de regresión (T-Student)	41
6.	Conclusiones.....	44
7.	Bibliografía	45

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Empresas del sector Forestal por tamaño y Segmento</i>	9
<i>Tabla 2: Superficie de bosque plantado según especies en Uruguay.</i>	10
<i>Tabla 3: Propiedades mecánicas de la madera</i>	14
<i>Tabla 4: Ecuaciones de volumen más empleadas.</i>	19
<i>Tabla 5: Variables climatológicas para el área de Rivera.</i>	22
<i>Tabla 6: Descripción de los Acrisoles Ócricos.</i>	23
<i>Tabla 7: Descripción de los Acrisoles Ócricos Álbicos</i>	23
<i>Tabla 8: Descripción Luvisoles Ócricos Abrupticos</i>	23
<i>Tabla 9: Descripción suelos Acrisoles Ócricos Abrupticos</i>	24
<i>Tabla 10: Distribución de pies por clases diamétricas de cada rodal.</i>	31
<i>Tabla 11: Área basimétrica para cada una de las parcelas medida.</i>	31
<i>Tabla 12: Ejemplo de cómo se han calculado los volúmenes de cada troza</i>	32
<i>Tabla 13: Modelos de ecuaciones más empleados para el cálculo de volúmenes.</i>	32
<i>Tabla 14: Variables del modelo</i>	33
<i>Tabla 15: Estadísticas del modelo de regresión</i>	33
<i>Tabla 16: Análisis de varianza</i>	33
<i>Tabla 17: Coeficientes</i>	33
<i>Tabla 18: Resultados de los modelos de ecuaciones</i>	34
<i>Tabla 19: resultados del R^2 para cada una de las ecuaciones.</i>	34
<i>Tabla 20: Resultados de F para el conjunto de todos los modelos de ecuaciones.</i>	35
<i>Tabla 21: Resultados de la significancia del análisis t.</i>	36
<i>Tabla 23: Resultados de los modelos de ecuaciones</i>	39
<i>Tabla 24: resultados del R^2 para cada una de las ecuaciones.</i>	40
<i>Tabla 25: Resultados de F para el conjunto de todos los modelos de ecuaciones.</i>	40
<i>Tabla 26: Resultados de la significancia del análisis t.</i>	41

Índices de figuras

Figura 1a y 1b: Se observa las hojas con el cambio de color y una bellota respectivamente..	14
Figura 2: Distribución natural <i>Quercus palustris</i> Müenchh. Fuente: FNA	15
Figura 3: plano con las localizaciones de las parcelas.	21
Figura 4: detalle del marcaje de árboles en las parcelas.....	25
Figura 5: Medición de alturas con un hipsómetro Suunto.	26
Figura 6: Detalle de una rodaja con los anillos marcados sobre cuatro radios.	29
Figura 7: Distribución de todos los pies medidos en función de su clase diamétrica.	30
Figura 8: Análisis del fuste de un ejemplar de <i>Quercus palustris</i>	37
Figura 9: Incremento corriente anual de volumen (ICA) según clases diamétricas.	38
Figura 10: Detalle de un análisis de tallo donde vienen reflejados los anillos de crecimiento y la altura del árbol.	38
Figura 11: IMA e ICA del rodal 1.	42
Figura 12: IMA e ICA del rodal 2.	42
Figura 13: IMA e ICA del rodal 3.	43

1. Introducción

Según CPA Ferrere (2017), el sector forestal de Uruguay comprende toda la cadena de valor de la industria desde la obtención de semillas hasta la comercialización de productos elaborados, incluyendo así a los diferentes sectores que son:

- Sector primario: incluyen a propietarios forestales y empresas de explotaciones forestales, que se dedican a extraer los productos que genera el monte.
- Sector industrial: donde encontramos industrias de primera transformación de la madera (aserraderos, plantas de celulosa, plantas de debobinado), que elaboran productos intermedios a partir de madera rolliza extraídos de plantaciones forestales, que tendrán como destino la industria de la segunda transformación. En industria de segunda transformación que se encargan de elaborar productos finales a partir de insumos procedentes de las industrias de primera transformación
- Sector servicios: lo componen empresas de obras y servicios.

Este sector incluye al menos cuatro cadenas industriales diferentes: Celulósico-papelera, transformación mecánica, industria química y energética.

La más importante es la Celulósico-papelera, cuyas empresas de mayor importancia son UPM y Montes de Plata, las cuales en conjunto consumen 9,5 millones de m³ de madera de eucalipto cada año, a lo cual se suma la construcción de una segunda planta de la empresa UPM, con lo que se estima que el consumo de madera alcance los 17 millones de m³.

El segundo pilar de la industria de la transformación de la madera son los aserraderos que se concentran principalmente en las zonas de Tacuarembó-Rivera, Paysandú y Zona Metropolitana con un consumo anual que ronda los 1.404.000 m³ al año (Uruguay XXI, 2016).

En la tabla 1 podemos observar el número de empresas que compone el sector forestal y a que parte del proceso productivo están dedicadas, estas pueden trabajar para sí mismas o estar subcontratadas por empresas más grandes.

Tabla 1: Empresas del sector Forestal por tamaño y Segmento

	Pequeñas	Medianas	Grandes	Total
Forestación	849	70	8	927
Producción productos maderas	731	35	3	769
Papel y celulosa	54	16	6	76
Total	1.634	121	17	1.727

Fuente: Uruguay XXI (2018).

Según el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), y la Sociedad de Productores Forestales (SPF), la contribución de la cadena forestal a la economía uruguaya supuso en 2016 un 3,6 % del Producto Interior Bruto (PIB) y llegó a representar el 17,5 % de las exportaciones, situándose como la segunda cadena en importancia, por detrás del sector cárnico. (CPA FERRERE, 2017).

En cuanto a generación de empleo, según datos del Banco de Previsión Social (BPS), el sector forestal crea unos 25 mil empleos involucrando a más de 1750 empresas, de las cuales el 93% se corresponden con PyME. De estos 25 mil empleos unos 14500 están vinculados directamente al proceso productivo, correspondiendo unos 5000 puestos a la fase de vivero y selvicultura, 2000 en cosecha, 4000 en la fase industrial, 2700 en transporte y 600 a logística y exportación.

Dentro de las actividades relacionadas con la fase industrial del sector forestal, encontramos la generación de energía a través de subproductos forestales, que gracias al aumento de la oferta de materia prima y a las políticas de Estado en la materia, llegó a suponer en 2017 un 8% del total de aportaciones de generación eléctrica según la memoria de UTE (Uruguay XXI, 2016).

Si hablamos de superficie forestada, en Uruguay tenemos 1.000.190 hectáreas de superficie destinadas a la forestación, lo que supone un 6% del territorio nacional. En la tabla 2 podemos observar la superficie forestada y a que especies están destinada. (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. 2018).

Tabla 2: Superficie de bosque plantado según especies en Uruguay.

Especie	Hectáreas forestadas	Porcentaje del total
<i>E. dunnii</i>	191.035	22
<i>E. globulus</i> , <i>E. maidenii</i> y <i>E. bicostata</i>	149.329	17
<i>E. grandis</i> y <i>E. saligna</i>	235.620	27
<i>Eucaliptus sp.</i>	18.766	2
<i>P. elliotii</i> y <i>P. taeda</i>	180.019	21
<i>P. pinaster</i>	3.790	0.5
Mezcla de especies	11.818	1
Bosques de abrigo	81.956	9
<i>Salix sp.</i> y <i>Populus sp.</i>	3.130	0.5

Fuente: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2018)

Actualmente, en Uruguay, rige la Ley Forestal Nro. 15.939, de 28 de diciembre de 1987. Esta ley se ha elaborado en base a diferentes proyectos, propuestas y leyes, empezando por diversos estudios, como el llevado a cabo por Winkelman, H.G., 1950, y por M. Hutton, 1953, donde proponen el desarrollo de plantaciones para la protección del ganado y la erosión. Este último trabajo de 1953 ya incluyó algunas pautas para una futura Ley forestal. Otro estudio de forestación es el realizado por Rogers, L.J., 1953, en el que se concluye a los efectos de desarrollar un plan de plantaciones, debe darse preferencia a las tierras que faciliten un crecimiento rápido y eficaz de los árboles. Se recomendó que el Gobierno del Uruguay formulase una política forestal de Estado y que en dicho proceso se tuviese en cuenta las áreas a plantar, su ubicación y el establecimiento de un Servicio Forestal Público.

En cuanto a proyectos, destacamos algunos realizados por la FAO a lo largo de los años, empezando en 1963, que establecía que el reducido costo de la materia prima nacional hace factible la creación de una industria integrada cercana a las plantaciones sobre areniscas y suelos serranos donde se elaboraría una amplia gama de productos, incluido el papel. En 1969 presentó un informe sobre el Proyecto de Plantación de Pinos en Paysandú, y ya en 1973 un Proyecto de Desarrollo Forestal. (Comunicación personal D. San Román. Julio 2019).

También podemos destacar el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social, del Ministerio de Ganadería y Agricultura de 1964, donde se identifican los grupos de Suelos de Prioridad Forestal dentro de la clasificación de suelos existente para el país. Este trabajo es el antecedente histórico para dicha determinación. Por último, la Ley Forestal Nro. 13.723, de 16 de diciembre de 1968, que es considerada como el antecedente de la actual Ley Forestal, ya que en su artículo 2 indica que la política forestal será formulada y realizada por el Ministerio de Ganadería y Agricultura, además, indica los terrenos que deben ser considerados forestales.

Los distintos estudios y proyectos propuestos con anterioridad coinciden en señalar la necesidad de determinar los suelos y especies forestales prioritarias, las ventajas comparativas que posee el Uruguay para la producción forestal a partir de plantaciones y su valor económico. Además, diferentes estudios realizados que han analizado la fase industrial del complejo forestal han indicado la factibilidad tanto de la cadena papelera como de la cadena del aserrado y los tableros.

Todos estos trabajos realizados a lo largo de los años han contribuido a la elaboración de la actual Ley Nro. 15.939, de 28 de diciembre de 1987. Esta política forestal tiene como objetivos centrales:

- El uso racional del recurso bosque nativo.
- La protección de los principales cursos de agua y embalses hidroeléctricos.
- El incremento de la base forestal con especies introducidas de rápido crecimiento en suelos de baja productividad agrícola y ganadera.
- El desarrollo sustentable del sector forestal.
- El desarrollo industrial en zonas donde el mismo es inexistente o tiene un desarrollo reducido.
- El desarrollo de un modelo exportador de productos con un alto valor agregado, debido a las características del mercado interno y de las posibilidades del mercado externo.

En este trabajo se ha decidido estudiar unas plantaciones de *Quercus palustris* para cuantificar su crecimiento y así generar información útil para su consideración como especie forestal alternativa o complementaria a *Pinus sp.* y *Eucaliptus sp.* en el Norte de Uruguay.

2. Objetivos

2.1. Objetivos generales

El objetivo es cuantificar y analizar el crecimiento en términos de producción de madera, y generar información útil para la consideración de esta especie como una alternativa a la hora de diversificar plantaciones forestales en el Norte de Uruguay, que están dominadas por Pinos (*P. taeda* y *P. elliotii*) y Eucaliptos.

2.2. Objetivos secundarios

Se han identificado una serie de objetivos específicos a través de los cuales se pretende lograr el objetivo principal.

1. Calcular el volumen y establecer modelos de ecuaciones de volumen, analizando las diferencias entre los diferentes modelos de ecuaciones existentes y establecer la ecuación que mejor se adapte
2. Cuantificar variables dendrométrías -área basal y volumen- de plantaciones de *Q. palustris* en el norte de Uruguay de 19 o 20 años.
3. Analizar los crecimientos de la especie mediante análisis de tallo
4. Establecer unos cuidados culturales para mejorar la calidad de la madera que se puede obtener.

3. Revisión bibliográfica

3.1. Descripción de la especie

El *Quercus Palustris* Muenchh. pertenece a la familia *Fagaceae*, género *Quercus*, subgénero *Erythrobalanus*, que está integrado por todos los robles rojos debido al característico color rojo de las hojas en otoño. Se trata de un árbol de tamaño medio (18 a 27m.), con una tasa de crecimiento elevada, que se desarrolla en tierras bajas o tierras altas húmedas, a menudo en suelos arcillosos mal drenados.

Su madera es dura y pesada (tabla 3) en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas, como la del resto del grupo de robles rojos americanos, pero presenta menor importancia comercial comparándose con la de los robles blancos (University of Toronto, 1981). Es empleada en construcción en general y para energía.

Se trata de una especie caduca, que alcanza su madurez fisiológica a los 80 o 100 años. En Missouri, hay cultivos de robles con un promedio de 28 cm de DAP y 20 m de altura a la edad de 30 años, y más de 40 cm de DAP a la edad de 50 años. En buenas condiciones, los rodales normalmente alcanzan alturas de 24 a 27 m y diámetros de aproximadamente 60 cm (Burns & Barbara, 1990).

El *Q. palustris* responde muy bien a los tratamientos de clareos y claras. Después de la liberación, las copas se expanden rápidamente para ocupar el espacio adicional, y el crecimiento de diámetro aumenta rápidamente.

Es un árbol monoico, las flores aparecen aproximadamente en el momento en que se desarrollan las hojas en primavera. La inflorescencia masculina crece en amentos que se desarrollan a partir de los brotes formados en las axilas de las hojas del año anterior, y la inflorescencia femenina nace de las axilas de las hojas del año en curso. La polinización es anemófila.

Las hojas son simples, alternas, pecioladas, semicoriáceas y con forma lanceolada más ancha en la parte central, tienen de 5 a 9 lóbulos que miden entre 7 y 15 cm, y están irregularmente dentados en la punta y el ápice. Son de color verde intenso y brillante por el haz de la hoja y mate por el envés. Además son lisas excepto por las vellosidades presentes en las axilas de las venas de mayor longitud. Sus peciolo miden entre 4 y 5 cm. El fruto es una bellota casi esférica, sésil, de 1 a 1,5 cm de largo por 0,8 a 1,5 cm de ancho, con capuchón de color blanquecino, corto, de escamas apretadas, que cubre menos de un tercio de la bellota. (Nancy et al., 1997).



Figura 1a y 1b: Se observa las hojas con el cambio de color y una bellota respectivamente.

3.1.1. Propiedades físico-mecánicas

En la siguiente tabla vienen reflejadas las características físico-mecánicas que tiene esta madera cuando se les somete a los diferentes esfuerzos por los que puede ser afectada.

Tabla 3: Propiedades mecánicas de la madera.

	Peso específico (kg/m ³)	MOE	MOR	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Dureza	Corte
Verde	-	9.28	583.54	258.7	50.62	77.83	90.69
Seco	710	12.09	984.29	479.49	71.71	106.16	146.24

Fuente: Center for Wood Anatomy Research. Los datos vienen referidos en kg/cm²

3.1.2. Desarrollo de las plántulas

En suelos bien aireados, las plántulas de roble desarrollan inicialmente una raíz fuerte. Sin embargo, a medida que los árboles envejecen, el sistema de raíces pierde esta configuración y se vuelve más fibroso. Cuando se trasplantan a raíz desnuda regeneran rápidamente un sistema radicular extenso y fibroso.

Aunque se pueden lograr muy buenos resultados en germinación tras unos años buenos de producción de bellotas, la mayoría de los brinzales mueren en un plazo de 5 años debido a su intolerancia a la sombra.

Cuando las plántulas de primer año están establecidas, si sufren una inundación durante la temporada de crecimiento, el crecimiento de las raíces cesa, algunas raíces secundarias mueren, y casi no se forman raíces adventicias. La supervivencia de las plántulas a una inundación superficial es alta, no ocurre lo mismo si la inundación cubre por completo las plántulas durante un periodo relativamente corto.

Si las inundaciones ocurren en el periodo de parada vegetativa, no presenta efectos adversos para el roble.

No se trata de un árbol con auto poda, por lo tanto, aunque las ramas bajas mueran en rodales cerrados estas se retienen durante muchos años, causando numerosos nudos pequeños en la madera aserrada.

3.1.3. Distribución natural

El *Quercus palustris* es originario de América del Norte, crece desde el suroeste de Nueva Inglaterra hacia el oeste hasta el extremo sur de Ontario, el sur de Michigan, el norte de Illinois e Iowa; hacia el sur hasta Missouri, el este de Kansas y el noreste de Oklahoma; luego hacia el este hasta el centro de Arkansas, Tennessee, el centro de Carolina del Norte y Virginia.



Figura 2: Distribución natural *Quercus palustris* Muenchh. Fuente: FNA

3.1.4. Ecología

- **Clima**

El clima en la mayor parte de la gama del *Q. palustris* se clasifica como húmedo o, en la parte noroeste, como húmedo subhúmedo. Las precipitaciones varían desde 810 mm a lo largo de los bordes oeste y norte de su rango de distribución, hasta más de 1270 mm en Arkansas y Tennessee. Las temperaturas medias anuales y la duración de la temporada de crecimiento varían de 10 °C y 120 días en el sur de Nueva Inglaterra a 16 °C y más de 210 días en el norte de Arkansas y el oeste de Tennessee.

- **Suelos y topografía**

El *Q. palustris* crece desde el nivel del mar hasta los 350 m de altitud. Se desarrolla sobre suelos aluviales y fondos fluviales mal drenados con alto contenido en arcilla. Se encuentran muy extendidos en tierras altas mal drenadas de las llanuras glaciares del sudoeste Ohio, el sur de Illinois e Indiana, y el norte de Missouri, que debido a la topografía plana y la presencia de arcilla en el suelo, tienden a ser excesivamente húmedos en invierno y primavera.

Presenta buen crecimiento en sitios húmedos con textura de suelo pesada y mal drenados, pero siempre que no permanezcan inundados por mucho tiempo, desarrollándose bien en zonas donde el suelo permanece inundado en la época de parada vegetativa, pero evita las zonas donde puede permanecer inundado durante largos periodos cuando está en crecimiento vegetativo. Además se trata de una especie acidófila, por lo que se desarrolla en terrenos ácidos, en presencia de suelos básicos presenta graves problemas de clorosis férrica.

- **Temperamento**

Se trata de una especie de temperamento robusto, en rodales coetáneos se encuentra siempre en estratos dominante o codominante, ya que los árboles suprimidos normalmente mueren a los pocos años (McQuilkin, 1990). Cuando se desarrollan en bosques mixtos suelen ser dominantes.

3.1.5. Agentes dañinos

Aunque el *Q. palustris* es muy tolerante a las inundaciones de la estación de latencia, es mucho menos tolerante a las inundaciones de la estación de crecimiento y los árboles suelen morir por sucesivas inundaciones si ocurren varios años seguidos.

Debido a que tienen una corteza relativamente delgada, son especialmente susceptibles de sufrir daños por el fuego y la decadencia asociada a las heridas provocadas. También está sujeto a la mayoría de las enfermedades de los robles, incluyendo la marchitez del roble (*Ceratocystis fagacearum*) y es particularmente susceptible al hongo *Taphrina caerulescens*. Así mismo, también alberga a muchos de los insectos que se alimentan de los robles, incluyendo muchos defoliadores como la *Lymantria dispar*, barrenadores de la madera, avispas y gorgojos de la bellota.

Los robles plantados en suelos alcalinos a menudo desarrollan clorosis foliar, debido al bloqueo de uno o más de los micronutrientes Fe, Mn o Zn, por lo que requiere de suelos ácidos o neutros para su correcto desarrollo.

3.1.6. Usos especiales

Las bellotas de roble son un alimento importante para los ánades (patos, gansos, cisnes, porrones...) durante su migración otoñal, también son un alimento importante para los ungulados, ardillas y diferentes tipos de aves.

La madera del *Q. palustris* es similar a la del *Q. rubra* y ambas se comercializan bajo el nombre de "roble rojo". Sin embargo la presencia de numerosos nudos pequeños en la madera de muchos *Q. palustris* limita su uso para productos de alta calidad, por lo que estos últimos deben ser podados.

3.2. Cálculo de volumen

El volumen es una variable que nos indica la cantidad de madera contenida en los árboles y se expresa en metros cúbicos (m^3), esta variable se calcula en función de DAP, la altura total y un coeficiente de corrección de la forma del fuste, se puede considerar como el resultado más importante de un inventario forestal, ya que nos indica la cantidad de madera existente en un bosque.

El cálculo de volumen se puede referir al total o al comercial. El volumen total se refiere a todo el volumen del fuste con o sin corteza. Si se mide en árboles en pie, el volumen se mide desde el nivel del suelo hasta el ápice terminal. Si el árbol se ha cortado previamente, el volumen total se toma desde el punto de corte hacia el ápice terminal, excluyéndose las secciones podridas del árbol. El volumen comercial se refiere a la sección del fuste que se puede ser utilizada para aserrío, desenrollo u otro uso comercial, se puede determinar tanto en arboles

cortados como en píce y se mide desde el punto de corte hasta el diámetro menor que se defina como comercial, (Salazar, 1989).

Para determinar el volumen de un tronco se necesitan tres variables, que son el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura y la forma del fuste. Los tratados de dendrometría asimilan la forma de los árboles con cuatro sólidos de revolución: el cilindro, el cono, eloide y el paraboloido.

Para el estudio de la forma se reconocen cuatro líneas de trabajo. Tres están basadas en relaciones simples: 1) factores de forma, que se derivan del cociente entre volúmenes; 2) cocientes de forma obtenidos del cociente entre diámetros; 3) puntos de forma que se corresponden al cociente entre alturas; la otra línea se basa en funciones como curvas, fórmulas y tablas de ahusamiento (Cancino, 2006).

Para calcular volúmenes de árboles enteros o por trozas se emplean fórmulas conocidas, las más empleadas son:

- **Huber:** $V = S_m * L$
- **Smalian:** $V = \frac{S_0 + S_f}{2} * L$
- **Newton:** $V = \frac{L}{6} * (S_0 + S_f + 4S_m)$

Siendo V el volumen en m³, S_m, S₀ y S_f las secciones media, inicial y final respectivamente y L la longitud de la troza.

Según FAO (1980), la estimación directa de volúmenes individuales puede hacerse de tres maneras:

- Con fórmulas geométricas para volúmenes de sólidos simples y gráficos.
- Con relaciones cuantitativas entre los parámetros y los volúmenes, como ecuaciones establecidas por análisis de regresión.
- Volumen entre dos puntos cualesquiera del fuste.

3.3. Ecuaciones de volumen

Una forma de conocer el volumen de madera de un rodal es mediante la determinación del volumen de sus árboles individuales y una herramienta para determinar ese volumen son los modelos matemáticos de regresión por medio de las tablas de volumen. Sin embargo, estas tablas han sido remplazadas por las ecuaciones de volumen, que son modelos matemáticos que

representa el volumen medio de madera por árbol a partir de variables independientes (Da Cunha y Guimaraes, 2009).

Mora y Gómez (2003) indican que las ecuaciones de volumen son herramientas de vital importancia para el profesional forestal, ya que permiten agilizar el proceso de la toma de decisiones, porque facilitan el procedimiento y sistematización de la información recogida, reduciendo el tiempo necesario para su análisis y la obtención de resultados.

Para la construcción de una ecuación de volumen es necesario en primer lugar hacer una medición de los volúmenes individuales de los árboles seleccionados que sean una muestra representativa de la población, después hay que establecer las relaciones entre las mediciones tomadas sobre los árboles y sus volúmenes, y por último, hay que elegir la ecuación de volumen que mejor se ajuste.

Los modelos se pueden construir en base a una entrada (con una sola variable independiente) o a dos entradas (con dos variables independientes); algunos de los más utilizados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Ecuaciones de volumen más empleadas.

Variable Independiente	Autor	Modelo matemático
D	Kopezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2$
	Dissescu-Meyer	$V = \beta_0 d + \beta_1 d^2$
	Hohenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$
	Berkhout	$V = \beta_0 + d^{\beta_1}$
	Husch	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d$
	Bernac	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 (1/d)$
D, h	Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$
	Hohenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 h$
	State	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h$
	Näslund	$V = \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 d h^2 + \beta_4 h^2$
	Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d h + \beta_4 d^2 h$
	Spurr (log form)	$V = \beta_0 + \beta_1 \ln d^2 h$
	Schumacher-Hall	$V = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$

Para las variables independientes D = DAP y h = altura total, en el modelo β = parámetros de ajuste del modelo a determinar.

3.4. Análisis de regresión lineal

Este análisis estadístico proporciona un método sencillo para establecer la relación funcional entre las diferentes variables estudiadas. Las relaciones son expresadas una ecuación, donde existe una variable dependiente (y) y una o más variables independientes ($X_1, X_2 \dots X_n$), quedando representado de la siguiente forma (Chatterjee & Price, 1977):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Según FAO (1980) el análisis de regresión lineal basado en el método de los mínimos cuadrados es una técnica para ajustar ecuaciones predictivas a datos originales.

La elección de la ecuación de volumen que mejor se ajuste debe hacerse de forma objetiva, y para ello deben clasificarse y analizarse en base a algunos criterios como son:

- Coeficiente de determinación (R^2)
- Prueba de significancia del conjunto de variables (F)
- Prueba de significancia de los coeficientes del modelo de regresión (T-Student)

4. Material y métodos

4.1. Ubicación área de estudio

4.1.1. Localización

Se identificaron plantaciones monoespecíficas de *Quercus palustris* que pertenecen a la empresa COFUSA – URUFOR S.A., que están situadas en el departamento de Rivera, al norte de Uruguay.

Se evaluaron tres rodales, cuyo acceso se realiza a través de la Ruta 5, en dirección a Rivera desde Tacuarembó, los tres primeros rodales objeto de estudio están cerca del desvío a Tranqueras y las coordenadas son para el rodal 1 (Latitud: 31°18'15.50''S; Longitud: 55°35'5.28''O), el rodal 2 (Latitud: 31°16'38.88''S; Longitud: 55°36'43.54''O), y el rodal 3 (Latitud: 31°12'50.77''S; Longitud: 55°38'59.54''O) (Figura 3).



Figura 3: plano con las localizaciones de las parcelas.

4.1.2. Clima

Según el Plan de Manejo de COFUSA (2018), el promedio de precipitaciones anuales para la zona de Rivera es de 1650 mm en el periodo 1985 – 2013, con un promedio de 91 días/año de precipitaciones (Tabla 5).

De acuerdo con el balance hídrico, en Uruguay se da un periodo de deficiencia de agua entre los meses de noviembre a febrero, pero gracias a las características del suelo y subsuelo y el mayor volumen de precipitaciones de la zona de estudio, estas deficiencias son atenuadas.

Tabla 5: Variables climatológicas para el área de Rivera.

Variable climatológica		Valor
Temperatura (°C)	Media	18,1
	Máxima absoluta	41,5
	Mínima absoluta	-5,0
	Máxima media	23,4
	Mínima media	12,7
Precipitaciones	Promedio anual (mm)	1.650
	Días con precipitaciones	91
Heladas	Días con helada	10
	Fecha probable primera helada	25 abril
	Fecha probable última helada	14 septiembre

Fuente: COFUSA elaborado en base la Dirección Nacional de Meteorología, INIA GRAS y Vivero Ceballos (2018).

4.1.3. Hidrología

Respecto a la hidrología, encontramos el Río Tacuarembó (afluente del Río Negro) y el Arroyo Cañapirú, como cursos principales, discurriendo en dirección N – S. En dirección NE – SE encontramos numerosos arroyos afluentes del Cañapirú, y en dirección NW – SW también encontramos numerosos arroyos que vierten sus aguas en el Cañapirú. Estos arroyos a su vez están alimentados por varias cañadas permanentes, definiendo una extensa cuenca que alimenta al Río Tacuarembó.

4.1.4. Suelos

En el área de estudio encontramos dos tipos de suelos según la carta de reconocimiento de suelos de Uruguay (A. Altaminino *et al.* 1976), una de las parcelas se encuentra sobre la unidad de suelo Tacuarembó y las otras tres parcelas sobre la unidad Rivera.

- **Unidad Rivera**

Esta unidad se compone de la formación Tacuarembó y retransportes de la misma.

Dominan los Acrisoles Ócricos, que son suelos que no tienen casi materiales primarios alterables, con una acidez elevada y bajo contenido en materia orgánica. Forma horizontes de color claro.

Tabla 6: Descripción de los Acrisoles Ócricos.

Horizonte	Espesor (cm)	Color	pH	M.O. %
A	70/110	Pardo / Pardo rojizo	4.5/5.5	0.8/0.4
Bt	120/140	Rojo oscuro	5.0/5.2	1.2/0.3
C	-	Rojo	4.7/5.1	0.4/0.2

Fuente: Carta de reconocimiento de suelos de Uruguay. Tomo III

Aparecen también Acrisoles Ócricos Álbicos, que son aquellos suelos donde se ha formado un horizonte aluvial en el que se han lavado la arcilla y el hierro.

Tabla 7: Descripción de los Acrisoles Ócricos Álbicos

Horizonte	Espesor (cm)	Color	pH	M.O. %
A1	53	Pardo oscuro	5.8	0.9
A2	18	Pardo	5.7	0.4
Bt	110	Rojo oscuro	5.2/5.3	1.2/0.4
C	-	Rojo	5.6	0.1

Fuente: Carta de reconocimiento de suelos de Uruguay. Tomo III

- Unidad Tacuarembó

Esta unidad se formó a partir de areniscas de Tacuarembó y sedimentos arenosos cuaternarios.

Predominan dos formaciones, por un lado los Luvisoles Ócricos Abrupticos, que son los suelos menos meteorizados y tienen una baja CIC (25-40 meq/100gr), además, presenta un fuerte proceso de lixiviación debido a la traslocación de arcilla y acidificación de perfil.

Tabla 8: Descripción Luvisoles Ócricos Abrupticos

Horizonte	Espesor (cm)	Color	pH	M.O. %
A	50	Pardo amarillento / oscuro	5.2/5.3	1.9/0.7
Bt	100/160	Pardo / Pardo amarillento	5.1/5.3	1.2/0.3
C	-	Pardos / rojizos	4.2/5.4	0.3/0.1

Fuente: Carta de reconocimiento de suelos de Uruguay. Tomo III

La otra formación predominante son los Acrisoles Ócricos Abrupticos, que se caracterizan por no contener casi materiales primarios alterables y una alta acidez.

Tabla 9: Descripción suelos Acrisoles Ócricos Abrupticos

Horizonte	Espesor (cm)	Color	pH	M.O. %
A	20	Pardo amarillento oscuro	5.6	0.8
Bt	40	Paro rojizo / Rojo amarillento	4.9/5.3	2.1/0.8
C	-	-	5.2	-

4.2. Delimitación de parcelas

Existen dos tipos de parcelas que pueden ser establecidas tanto en bosques naturales como en plantaciones.

- **Parcelas temporales:** Normalmente se usan para estimar relaciones independientes del tiempo, pero existe la posibilidad de determinar relaciones dependientes del tiempo gracias a la información de los anillos de crecimiento (FAO, 1980).
- **Parcelas permanentes:** Su principal objetivo es establecer mediciones periódicas, para poder seguir y evaluar el crecimiento de los árboles hasta el final de su turno de corta. En este tipo de parcelas se miden reiteradamente diferentes variables dasométricas, logrando así una serie de datos con los que se construyen los modelos de crecimiento, ya que representan la evolución de las masas estudiadas con exactitud.

A partir de los datos de parcelas permanentes, se puede describir el desarrollo de cada serie por separado, en el caso de que la variable analizada sea la altura dominante, la evolución de cada parcela puede representarse por la ecuación de Richards (K. v. Gadow *et al.* 1999).

En las plantaciones, el tamaño de las parcelas se define en función del marco de plantación o en base a una superficie de área. Su forma puede ser variada, siendo las parcelas temporales circulares las más empleadas para diagnósticos de plantaciones comerciales, mientras que las parcelas permanentes suelen tener una forma cuadrada o rectangular, ya que facilita su ubicación y el sentido de medición de los árboles en mediciones consecutivas a largo plazo (Ugalde, 2000).

Para los rodales 2 y 3 se midieron parcelas con un radio de 9 metros, con lo que tenemos mediciones de parcelas de 255 m² de superficie, en la que entraban como mínimo 15 pies por parcela, para la parcela 1 se midió una superficie de 300 m² para poder incluir al menos 15 pies en la medición. Para la medición de las parcelas se marcaba un punto central y se lanzaba un

radio, midiendo todos los árboles que quedaban dentro de la circunferencia, todas las parcelas se han medido alejadas de los límites de los rodales para evitar el efecto borde.

Debido al carácter temporal de las parcelas de estudio se ha optado por la forma circular, ya que son más fáciles de plantear en campo y hay menos errores a la hora de delimitar los árboles que quedan fuera o dentro del perímetro.



Figura 4: detalle del marcaje de árboles en las parcelas.

4.3. Toma de datos de árboles en pie

En este caso se procedió a medir el DAP (diámetro a la altura del pecho) de todos los árboles que estaban dentro de las parcelas elegidas (Figura 4), este diámetro se midió a la altura de 1,30 m del suelo y la lectura se tomó con una forcípula, tomando una primera medición que era anotada y acto seguido una segunda medición girando la forcípula 90° sobre el eje del tronco. Con estas dos mediciones de cada árbol se ha obtenido el diámetro medio a la altura del pecho, con lo que se puede calcular el G (área basimétrica) mediante la fórmula: m^2

$$G(m^2/ha) = \frac{\sum g_i(m^2)}{St(ha)}$$

Siendo "G" el área basimétrica expresada en m^2/ha ., "g_i" el área de la sección circular del i-ésimo árbol, y "St" la superficie total en hectáreas de la parcela medida.

El valor de “g” se obtiene de la media de su diámetro, expresado a través de la fórmula que nos da el área de un círculo:

$$g = \frac{\pi}{4} * d^2$$

Después de medir los diámetros se procedió a clasificar los árboles por clases diamétricas de 5 cm y se midió la altura de un árbol representativo de cada clase diamétrica con un hipsómetro Suunto. (Figura 5)

Además, se procedió a anotar después de un examen visual el estado del árbol, indicando en cada caso la dominancia de los ejemplares medidos, si tenían tronco bifurcado y si presentaban alguna afección por hongos o heridas por insectos o animales.



Figura 5: Medición de alturas con un hipsómetro Suunto.

4.4. Toma de datos sobre pies apeados

En una segunda visita a las parcelas se ha procedido al apeo de varios árboles de cada clase diamétrica, con el fin de tomar medidas más exactas de alturas, y medir el fuste en trozas para calcular la función de volumen de los árboles y poder así cubicar el árbol.

Además, se han sacado rodajas a diferentes alturas del tronco para poder contar los anillos de crecimiento y de esta forma obtener la curva de crecimiento en alturas y crecimiento medio

anual en volumen de la madera. Para esto se han extraído rodajas de la base, a la altura de DAP y cada 10% de la altura total hasta un máximo de 10 rodajas.

También se han extraído algunas trozas para futuras evaluaciones de propiedades física y mecánicas, y durabilidad natural de la madera.

4.5. Cálculo de volúmenes individuales

El cálculo de los volúmenes individuales de cada árbol una vez apeado se ha realizado mediante la fórmula de Smalian, dividiendo el fuste en trozas de dos metros y midiendo la sección superior e inferior de cada troza; para la sección final se ha empleado la fórmula del cono.

$$\text{- Smalian: } V = \frac{\pi}{4} * \frac{(D+d)^2}{2} * l \quad \text{- Cono: } V = \frac{\pi D^2 * l}{4 * 3}$$

Siendo: V= volumen (m³); D y d= diámetros mayor y menor de cada sección (m); L= longitud de la troza.

El procesamiento de los datos se ha realizado mediante una hoja de cálculo del paquete informático Microsoft Excel.

Una vez calculado todos los volúmenes por trozas se suman para obtener el volumen total del árbol.

4.6. Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico de los diferentes modelos de ecuaciones se ha empleado el paquete informático estadístico SPSS® desarrollado por IBM®.

Este análisis ha consistido en someter las ecuaciones a regresión lineal para obtener los valores de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ en función de las variables independientes que incluya cada modelo y teniendo siempre como variable dependiente el volumen.

Después de la regresión lineal se ha procedido a hacer diferentes análisis para determinar la ecuación de volumen que mejor se ajuste a la predicción del volumen real, para ello, en primer lugar se han calculado y comparado los coeficientes de determinación R² ajustados, en segundo lugar se ha realizado un análisis de varianza donde se ha calculado el estadístico F y se han comparados los resultados de cada uno de los modelos, y por último se ha hecho un estudio de

los coeficientes de todos los modelos donde se ha calculado y comparado los resultados de la prueba estadística T-Student.

4.7. Medición de anillos de crecimiento

La dendrocronología consiste en el estudio de los anillos de crecimientos de las plantas, con ello se pretende conocer la edad de las plantas y la historia de su crecimiento.

Al no disponer de mediciones intermedias entre la plantación del rodal y la edad actual, se hizo un estudio dendrocronológico de los fustes. Esto es posible hacerlo en esta especie pues tiene porosidad anular, con anillos de crecimiento claramente demarcados al ser los poros de los vasos conductores mayores en madera temprana y menores en madera tardía, lo que permite diferenciar los anillos de cada año, correspondiendo a un anillo por año.

Para poder realizar este estudio se ha procedido a sacar rodajas de madera de un árbol de cada clase diamétrica, estas se han obtenido de la base del fuste, a la altura del DAP y luego una rodaja cada un 10% de la altura total, hasta completar 10 rodajas.

La forma de proceder con las muestras ha sido:

- Identificación y marcaje de las muestras anotando la clase diamétrica y la sección de donde se ha sacado cada troza.
- Secado de las muestras en horno hasta un 20% de humedad.
- Lijado y pulido de las muestras para ver bien los anillos de crecimiento.
- Marcaje de los anillos sobre cuatro radios en cada una de las muestras (Figura 6).
- Medición del ancho los anillos.
- Procesado de los datos.

Tras la medición de los anillos se puede realizar una simulación con los crecimientos en grosor y la altura alcanzada cada año por los árboles, lo que nos permite simular mediciones en los mismos pies año tras año logrando la misma serie de datos que nos arrojaría una parcela de estudio permanente.



Figura 6: Detalle de una rodaja con los anillos marcados sobre cuatro radios.

De esta forma logramos obtener un mayor número de datos de diámetros, alturas y volúmenes con los que poder ajustar mejor las ecuaciones de volúmenes por el método de regresión lineal.

5. Resultados

5.1. Obtención de datos

En primer lugar se han ordenado los datos obtenidos en campo, para ello se han clasificado los árboles medidos en las diferentes parcelas por clases diamétricas, para tener una visión general de la distribución diametral de los troncos.

En total se han identificado 149 árboles a los que se les ha medido el diámetro a la altura del pecho (figura 7), se ha comprobado el estado sanitario y si tenían o no bifurcaciones, y se ha comprobado su dominancia, además se ha medido la altura de un par de árboles por clase diamétrica. Para la distribución en clases diamétricas se han agrupado por clases de 5 en 5 cm., incluyendo por ejemplo en la CD 15 todos los árboles que median entre 12,5 y 17,49 cm.

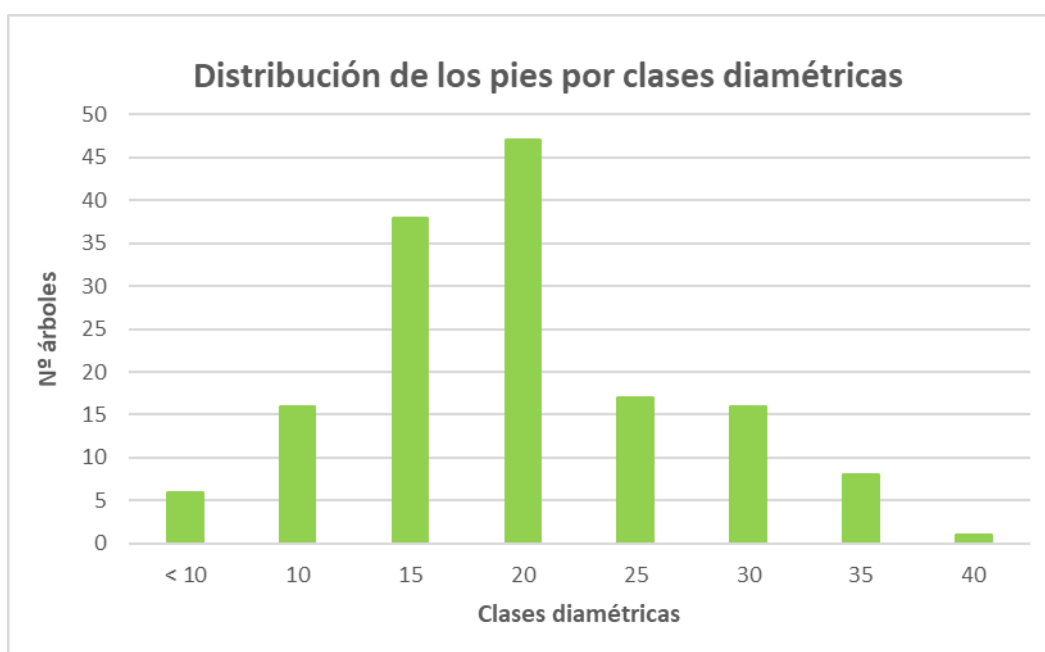


Figura 7: Distribución de todos los pies medidos en función de su clase diamétrica.

El total de parcelas medidas es de 10 repartidas en tres rodales objeto de estudio, encontrando mayor cantidad de parcelas medidas en el segundo rodal debido al tamaño de esta.

En nuestro caso cada rodal tiene una densidad actual diferente encontrando en el primer rodal una densidad de 500 pies/ha., el segundo rodal tiene 550 pies/ha, y el último rodal tiene 1340 pies/ha lo que influye en la distribución de las clases diamétricas como se muestra en la tabla 10, donde se muestra la distribución de todos los pies medidos.

Para todas las parcelas se comprobó el estado sanitario de la masa, no encontrándose ninguna afección ni por hongos ni plagas de defoliadores o perforadores, por lo que el estado sanitario de la masa es bueno.

Tabla 10: Distribución de pies por clases diamétricas de cada rodal.

Rodal	Nº parcelas medidas	Clases diamétricas							
		<10	10	15	20	25	30	35	40
1 (0.6 ha)	2	0	0	4	4	5	6	7	1
2 (4 ha)	5	0	2	10	26	9	9	1	0
3 (1.76 ha)	3	6	14	24	17	3	1	0	0
Total		6	16	38	47	17	16	8	1

Después de clasificar los árboles se ha calculado el área basimétrica de cada una de las parcelas, cuyos resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11: Área basimétrica para cada una de las parcelas medida.

rodal	Parcela	Área Basimétrica
1	1	27.75
	2	28.70
2	1	25.96
	2	32.36
	3	25.46
	4	23.31
	5	28.20
3	1	25.35
	2	23.86
	3	25.08

5.2. Cálculo del volumen individual

Para calcular el volumen real y ajustar la ecuación de volumen se talaron un pie de cada clase diamétrica representada en las parcelas, menos de la clase 40 al tener solo un ejemplar y de las clases menores de 10 cm en DAP, en aquellas clases que concentraban mayor número de pies se apearon dos individuos (Clases 15 y 20).

Tras el apeo se procedió al desramado del fuste y se midieron los diámetros cada dos metros hasta el ápice, para estimar el volumen total del fuste mediante la fórmula de Smalian, los resultados se procesaron en Excel (Tabla 12). En la que D1 y D2 son los dos diámetros mayores medidos, d1 y d2 son los diámetros menores y Dpro y dpro son el diámetro medio mayor y medio menor respectivamente.

Tabla 12: Ejemplo de cómo se han calculado los volúmenes de cada troza

árbol	Troza	D1 (cm)	D2 (cm)	d1 (cm)	d2 (m)	D pro (m)	d pro (m)	l (m)	Volumen (m3)
1	1	19.5	18.8	13.7	13.6	0.1915	0.1365	2	0.043
	2	13.7	13.6	11.8	12.1	0.1365	0.1195	2	0.026
	3	11.8	12.1	8.4	9.1	0.1195	0.0875	2	0.017
	4	8.4	9.1	8	8.4	0.0875	0.082	2	0.011
	5	8	8.4	6.8	7	0.082	0.069	2	0.009
	6	6.8	7	5.5	6	0.069	0.0575	2	0.006
	7	5.5	6	5	5.1	0.0575	0.0505	2	0.005
	8	5	5.1	3	2.8	0.0505	0.029	2	0.003
	9	3	2.8	-	-	0.029	-	2.32	0.001
								Total	0.121
2	1	25.5	24.7	17.2	17.7	0.251	0.1745	2	0.073
	2	17.2	17.7	15	15.8	0.1745	0.154	2	0.043
	3	15	15.8	13.8	12.1	0.154	0.1295	2	0.032
	4	13.8	12.1	10.4	10.5	0.1295	0.1045	2	0.022
	5	10.4	10.5	8.3	8.6	0.1045	0.0845	2	0.014
	6	8.3	8.6	7.8	7.3	0.0845	0.0755	2	0.010
	7	7.8	7.3	4.2	4.7	0.0755	0.0445	2	0.006
	8	4.2	4.7	-	-	0.0445	-	3	0.002
								Total	0.201

5.3. Modelos de ecuaciones

Los modelos de ecuaciones elegidos tras revisar la literatura existente han sido evaluados mediante regresión lineal y son los que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13: Modelos de ecuaciones más empleados para el cálculo de volúmenes.

Número	Variable independiente	Modelo
1	d	$V=b_0 + b_1dap$
2	h	$V=b_0 + b_1h$
3	d, h	$V=b_0 + b_1daph$
4	d	$V=b_0 + b_1dap^2$
5	d, h	$V=b_0 + b_1dap^2 h$
6	d	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2$
7	d, h	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2h$
8	d, h	$V=b_0 + b_1dap + b_2h$
9	d, h	$V=b_0 + b_1daph + b_2h$
10	h, d	$V=b_0 + b_1h + b_2dap^2h$
11	d, h	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2h$
12	d, h	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2dap^2h$
13	d, h	$V=b_0 + b_1daph + b_2dap^2h$
14	d, h	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2daph$
15	d, h	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2h + b_3dap^2h$
16	d, h	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3daph$
17	d, h	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3dap^2h$
18	d, h	$V=b_0 + b_1dap + b_1daph + b_1dap^2h$
19	d, h	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3h$

Fuente: Ruiz (2007) y Escobar (2015)

5.4. Análisis estadístico

Los diferentes modelos seleccionados han sido sometidos a un análisis de regresión lineal, ordenándose los resultados en las tablas adjuntas en el anexo II. Aquí se muestra el ejemplo de los resultados obtenidos para la ecuación 1: $V=b_0 + b_1dap$

Tabla 14: Variables del modelo

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	DAP	.	Reg. Lineal

Tabla 15: Estadísticas del modelo de regresión

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,956	,915	,901	94,30262	,990

Tabla 16: Análisis de varianza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	573367,965	1	573367,965	64,474	,000 ^b
	Residuo	53357,910	6	8892,985		
	Total	626725,875	7			

Tabla 17: Coeficientes

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-398,974	97,226	-4,104	,006	-636,878	-161,070
	DAP	,351	,044	8,030	,000	,244	,458

Con los coeficientes estimados se obtienen las ecuaciones que para este ejemplo del modelo 1 se quedaría así: $V = -398,794 + 0,351dap$

En la siguiente tabla vienen reflejados los resultados para todos los modelos de ecuaciones que se ha simulado.

Tabla 18: Resultados de los modelos de ecuaciones

Número	Modelo
1	$V = -398,974 + 0,351 \text{ dap}$
2	$V = -1819,266 + 1,112 \text{ h}$
3	$V = -244,871 + 1,389 \text{ daph}$
4	$V = -40,903 + 7,581 \text{ dap}^2$
5	$V = 8,993 + 0,319 \text{ dap}^2 \text{ h}$
6	$V = 250,269 + -0,275 \text{ dap} + 13,328 \text{ dap}^2$
7	$V = -515,270 + 6,263 \text{ dap}^2 + 0,279 \text{ h}$
8	$V = -1021,980 + 0,262 \text{ dap} + 0,417 \text{ h}$
9	$V = -342,562 + 1,330 \text{ daph} + 0,063 \text{ h}$
10	$V = -149,225 + 0,092 \text{ h} + 0,299 \text{ dap}^2 \text{ h}$
11	$V = 72,258 + -0,052 \text{ dap} + 0,363 \text{ dap}^2 \text{ h}$
12	$V = 34,459 + -3,481 \text{ dap}^2 + 0,462 \text{ dap}^2 \text{ h}$
13	$V = 9,593 + -0,003 \text{ daph} + 0,39 \text{ dap}^2 \text{ h}$
14	$V = -221,491 + 0,904 \text{ dap}^2 + 1,225 \text{ daph}$
15	$V = 41,282 + -3,565 \text{ dap}^2 + -0,004 \text{ h} + 0,467 \text{ dap}^2 \text{ h}$
16	$V = 63,596 + -0,262 \text{ dap} + 6,676 \text{ dap}^2 + 1,168 \text{ daph}$
17	$V = -110,494 + 0,159 \text{ dap} + -10,276 \text{ dap}^2 + 0,607 \text{ dap}^2 \text{ h}$
18	$V = 29,107 + -0,082 \text{ dap} + 0,431 \text{ daph} + 0,290 \text{ dap}^2 \text{ h}$
19	$V = -256,351 + 0,157 \text{ dap} + 9,799 \text{ dap}^2 + 0,224 \text{ h}$

5.4.1. Coeficiente de determinación R²

A continuación se muestran los resultados del R² para los 19 modelos ejecutados.

Tabla 19: resultados del R² para cada una de las ecuaciones.

Número	Modelo	R ²
2	$V=b_0 + b_1h$	0,692
1	$V=b_0 + b_1dap$	0,901
8	$V=b_0 + b_1dap + b_2h$	0,944
4	$V=b_0 + b_1dap^2$	0,956
6	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2$	0,962
14	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2daph$	0,963
9	$V=b_0 + b_1daph + b_2h$	0,964
19	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3h$	0,968
3	$V=b_0 + b_1daph$	0,969
7	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2h$	0,971
16	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3daph$	0,971
18	$V=b_0 + b_1dap + b_1daph + b_1dap^2h$	0,975
15	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2h + b_3dap^2h$	0,976
17	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3dap^2h$	0,978
10	$V=b_0 + b_1h + b_2dap^2h$	0,979
11	$V=b_0 + b_1dap + b_2dap^2h$	0,979
13	$V=b_0 + b_1daph + b_2dap^2h$	0,979
5	$V=b_0 + b_1dap^2 \text{ h}$	0,981
12	$V=b_0 + b_1dap^2 + b_2dap^2h$	0,981

Como se observa en la tabla 18, la ecuación 2 tiene un valor de R^2 (0,692) muy por debajo de las demás ecuaciones, por lo que se descarta como modelo. De estos resultados podemos decir que aunque la altura es importante para la determinación de los volúmenes de los árboles, por sí sola no sirve para predecir el volumen del árbol.

El resto de los modelos sí presentan un coeficiente de R^2 que varía entre 0,901 y 0,981, por lo que podemos considerar que son significativos, correspondiéndose los valores más altos a los que dependen de más variables independientes.

En este caso los modelos que más se ajustan serían los 5, 10, 11, 12 y 13, ya que tienen los mejores coeficientes de R^2 .

5.4.2. Prueba de significancia del conjunto de variables (F)

La prueba de Fisher (F) nos indica que cuanto mayor es el valor de F el modelo tiene un mejor ajuste, ya que a mayor variación explicada por el modelo, menor es la variación del error.

Como se puede observar en la tabla 20 la ecuación que mejor se ajusta es la representada por el modelo 5 ($V=b_0 + b_1dap^2 h$) y la que presenta el peor ajuste vuelve a ser otra vez el modelo 2 ($V=b_0 + b_1h$), donde solo viene representada la altura como variable independiente.

Tabla 20: Resultados de F para el conjunto de todos los modelos de ecuaciones.

Nº modelo	Estadístico F	Nº modelo	Estadístico F
2	16,697	17	105,844
8	60,433	7	116,409
1	64,474	4	151,311
19	72,316	13	152,623
16	79,357	11	163,957
6	89,600	10	167,858
18	91,319	12	179,620
14	92,100	3	219,237
9	93,628	5	366,294
15	95,803		

5.4.3. Prueba de significancia de los coeficientes del modelo de regresión (T-Student)

La prueba T-Student nos indica la probabilidad de que t ocurra al azar, suponiendo que al menos un coeficiente es estadísticamente igual a cero (hipótesis nula).

Considerando este supuesto y otorgando un nivel de confianza del 95% (<0.05), se deben rechazar todas las ecuaciones en las que alguno de los coeficientes estimados presenten un p-valor mayor de 0,05, ya que nos está indicando que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Tabla 21: Resultados de la significancia del análisis t.

Modelo	p-valor (t-Student)		
	b ₁	b ₂	b ₃
1	0,000		
2	0,006		
3	0,000		
4	0,000		
5	0,000		
6	0,214	0,022	
7	0,001	0,100	
8	0,003	0,062	
9	0,001	0,742	
10	0,515	0,000	
11	0,572	0,005	
12	0,394	0,031	
13	0,997	0,131	
14	0,849	0,197	
15	0,627	0,988	0,218
16	0,196	0,289	0,184
17	0,555	0,414	0,095
18	0,527	0,698	0,203
19	0,467	0,094	0,230

Como se puede ver en la tabla 21, bajo este supuesto hay que rechazar las ecuaciones que van desde la 6 hasta la 19, considero que con un muestreo más amplio se podría ajustar mejor los modelos de ecuaciones y quedarían excluidos menos modelos.

Tras realizar todo el análisis estadístico se observa que la ecuación de volumen que mejor se ajusta es la del modelo 5 ($V = b_0 + b_1dap^2h$), donde la variable independiente está representada por el diámetro a la altura del pecho al cuadrado multiplicado por la altura total de fuste.

5.5. Análisis medición de anillos de crecimiento

A través del análisis de los anillos de crecimiento de las diferentes clases diamétricas podemos evaluar el desarrollo de las plantaciones, por lo que podemos extraer datos para calcular curvas de ICA e IMA, y a partir de esta información sugerir posibles tratamientos a

efectuar en la masa y a qué edad se tendría que haber actuado y sobre todo como manejar plantaciones a futuro.

El Incremento Medio Anual (IMA) se calcula dividiendo el volumen de la masa entre la edad de la misma en el momento de la medición, y el Incremento Corriente Anual (ICA) lo calculamos restando el volumen final menos el volumen inicial, obtenidos ambos en un periodo de crecimiento de un año.

$$IMA = \frac{Volumen}{Edad}$$

$$ICA = Volumen\ final\ año - Volumen\ inicio\ año$$

En la figura 8 se muestra el análisis de un tronco de *Quercus palustris*, habría sido conveniente realizar unos raleos para aclarar la masa ya que en los últimos años (2014 – 2015) entra en una fuerte competencia con el resto de los pies de la masa, lo que queda reflejado en el poco desarrollo de los anillos de crecimiento de los últimos años (Figura 8) y en el incremento de volumen anual como vemos en la figura 9. Lo que supone en una reducción de la producción de volumen maderable.

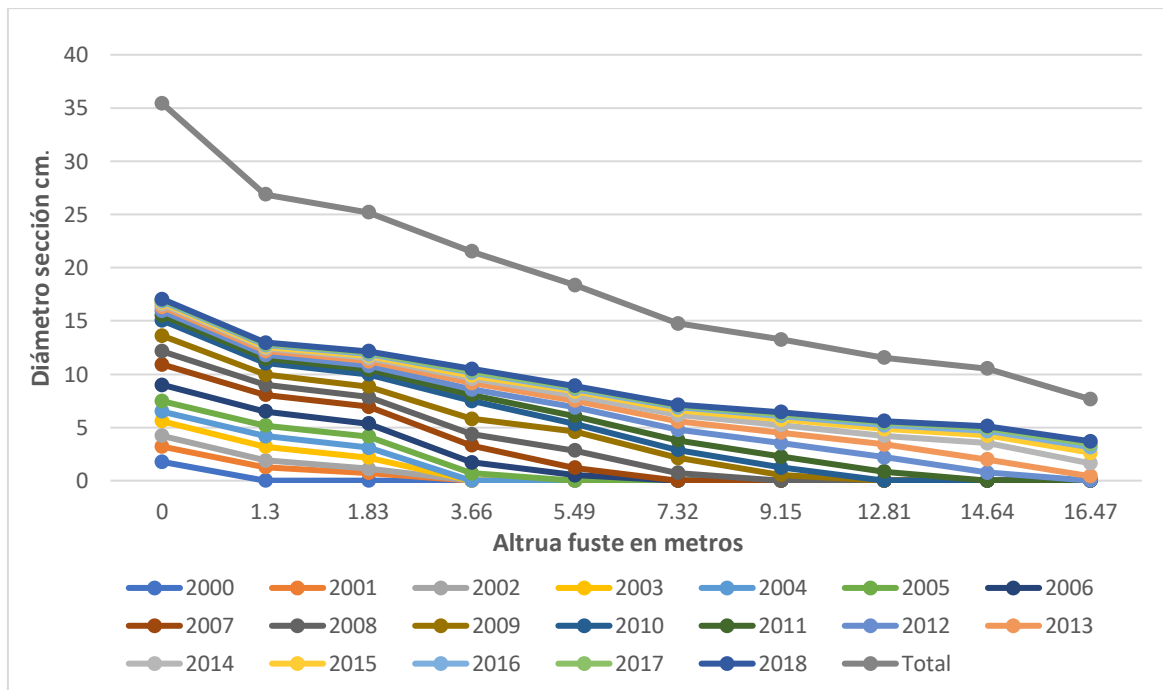


Figura 8: Análisis del fuste de un ejemplar de *Quercus palustris*.

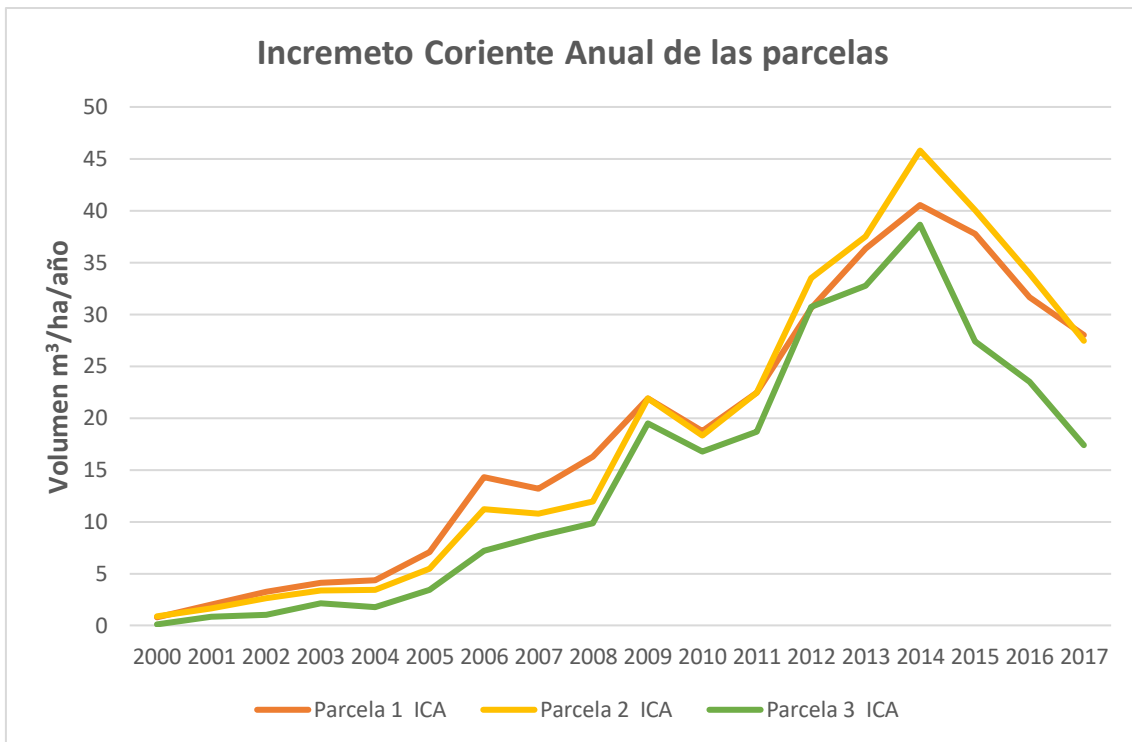


Figura 9: Incremento corriente anual de volumen (ICA) según clases diamétricas.

Además de los datos de crecimiento obtenidos se han podido cubicar los árboles como si se hubiesen medido cada año desde que alcanzaron la altura de 1,30 m., logrando ampliar la cantidad de datos disponibles para analizar con las fórmulas de volumen. Para obtener estos datos lo que se ha procedido es a contar los anillos de las rodajas de madera que se han ido sacando a las diferentes alturas del tronco, con lo que sabemos a qué edad el árbol ha alcanzado esa altura y que dimensión tenía a la altura del DAP, como podemos ver en la figura 10.

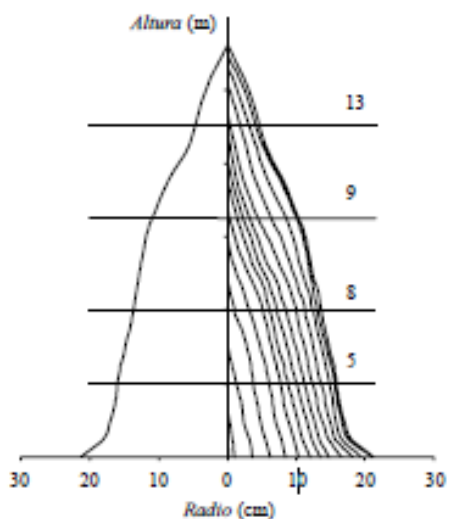


Figura 10: Detalle de un análisis de tallo donde vienen reflejados los anillos de crecimiento y la altura del árbol.

Con este análisis más completo de las fórmulas de volumen en el que se han empleado los 8 pares de datos obtenidos de la medición de los árboles y 100 pares de datos sacados de los análisis de tallos, en total 108 pares de datos, se han obtenido unas funciones diferentes a las logradas tras el primer análisis y vienen reflejadas a continuación.

Tabla 22: Resultados de los modelos de ecuaciones

Número	Modelo
1	$V = -0,101 + 1,719 \text{ dap}$
2	$V = -0,107 + 0,021 \text{ h}$
3	$V = -0,037 + 0,088 \text{ daph}$
4	$V = -0,014 + 5,746 \text{ dap}^2$
5	$V = 0,01 + 0,290 \text{ dap}^2 \text{ h}$
6	$V = -0,045 + 0,535 \text{ dap} + 4,145 \text{ dap}^2$
7	$V = -0,05 + 4,835 \text{ dap}^2 + 0,005 \text{ h}$
8	$V = -0,108 + 1,594 \text{ dap} + 0,002 \text{ h}$
9	$V = 0,022 + 0,119 \text{ daph} + -0,11 \text{ h}$
10	$V = -0,001 + 0,001 \text{ h} + 0,279 \text{ dap}^2 \text{ h}$
11	$V = -0,003 + 0,164 \text{ dap} + 0,269 \text{ dap}^2 \text{ h}$
12	$V = 0,004 + 0,816 \text{ dap}^2 + 0,256 \text{ dap}^2 \text{ h}$
13	$V = -0,002 + 0,019 \text{ daph} + 0,231 \text{ dap}^2 \text{ h}$
14	$V = -0,037 + 0,950 \text{ dap}^2 + 0,075 \text{ daph}$
15	$V = -0,003 + 0,748 \text{ dap}^2 + 0,001 \text{ h} + 0,252 \text{ dap}^2 \text{ h}$
16	$V = 0,004 + -0,0812 \text{ dap} + 1,909 \text{ dap}^2 + 0,098 \text{ daph}$
17	$V = 0,002 + 0,026 \text{ dap} + 0,754 \text{ dap}^2 + 0,255 \text{ dap}^2 \text{ h}$
18	$V = -0,001 + -0,037 \text{ dap} + 0,022 \text{ daph} + 0,228 \text{ dap}^2 \text{ h}$
19	$V = -0,055 + 0,199 \text{ dap} + 4,401 \text{ dap}^2 + 0,005 \text{ h}$

Para lograr estos modelos de ecuaciones se ha realizado un análisis estadístico de regresión lineal para poder determinar las funciones que más se ajustan a la hora de calcular los volúmenes de la masa.

5.5.1. Coeficiente de determinación R²

Tabla 23: resultados del R² para cada una de las ecuaciones.

Número	Modelo	R ²
2	V=b0 + b1h	0,569
1	V=b0 + b1dap	0,768
8	V=b0 + b1dap + b2h	0,768
4	V=b0 + b1dap ²	0,819
6	V=b0 + b1dap + b2dap ²	0,829
7	V=b0 + b1dap ² + b2h	0,835
19	V=b0 + b1dap + b2dap ² + b3h	0,835
3	V=b0 + b1daph	0,919
14	V=b0 + b1dap ² + b2daph	0,922
16	V=b0 + b1dap + b2dap ² + b3daph	0,937
9	V=b0 + b1daph + b2h	0,954
5	V=b0 + b1dap ² h	0,961
10	V=b0 + b1h + b2dap ² h	0,962
11	V=b0 + b1dap + b2dap ² h	0,963
12	V=b0 + b1dap ² + b2dap ² h	0,964
13	V=b0 + b1daph + b2dap ² h	0,964
15	V=b0 + b1dap ² + b2h + b3dap ² h	0,964
17	V=b0 + b1dap + b2dap ² + b3dap ² h	0,964
18	V=b0 + b1dap + b1daph + b1dap ² h	0,964

En este caso vemos como la ecuación que peor R² nos arroja vuelve a ser la del modelo 2 pero también podemos descartar las ecuaciones 1, 8, 4, 6, 7 y 19 el resto de los modelos los damos por validos al estar con un R² por encima del 0,900.

5.5.2. Prueba de significancia del conjunto de variables (F)

Tabla 24: Resultados de F para el conjunto de todos los modelos de ecuaciones.

Nº modelo	Estadístico F	Nº modelo	Estadístico F
2	142,335	18	956,518
8	177,615	15	966,458
19	181,017	9	1098,830
6	259,626	3	1221,232
7	272,220	10	1359,658
1	355,100	11	1380,184
4	486,307	12	1445,045
16	530,903	13	1447,123
14	634,185	5	2666,118
17	954,867		

La prueba de Fhiser (F) nos indica también que la peor ecuación es la 2 seguido de la ecuación 8, y los mejores modelos son el 5, seguidos de los modelos 13, 12 y 11, como se puede observar en la tabla 25.

5.5.3. Prueba de significancia de los coeficientes del modelo de regresión (T-Student)

Tabla 25: Resultados de la significancia del análisis t.

Modelo	p-valor (t-Student)		
	b ₁	b ₂	b ₃
1	0,000		
2	0,000		
3	0,000		
4	0,000		
5	0,000		
6	0,011	0,000	
7	0,000	0,001	
8	0,000	0,373	
9	0,000	0,000	
10	0,086	0,000	
11	0,032	0,000	
12	0,003	0,000	
13	0,002	0,000	
14	0,033	0,000	
15	0,007	0,259	0,000
16	0,000	0,000	0,000
17	0,790	0,034	0,000
18	0,752	0,030	0,000
19	0,435	0,000	0,030

Como se ha descrito con anterioridad tras la prueba de significancia hay que rechazar todos los modelos de ecuaciones que tengan un p-valor mayor de 0.05. De esta forma son válidos los modelos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14 y 16. (tabla 26).

Tras volver a realizar el análisis estadístico con los nuevos datos se procedió a calcular el Incremento Medio Anual (IMA) de volumen y el Incremento Corriente Anual (ICA) para los tres rodales.

Para ello ha sido necesario calcular los volúmenes usando la ecuación de volumen que se ha establecido como la más válida para este caso, ambos incrementos se han graficado para los tres rodales y se muestran en las siguientes figuras.

En estas tres figuras vemos el IMA y el ICA que nos reflejan tasas de incremento de volumen de madera en m³/ha, de aquí se pueden extraer el mejor momento para realizar un primer tratamiento de clara, que debería realizarse cuando el ICA empieza a caer, ya que nos está indicando que la masa ha entrado en competencia por los recursos y su tasa de crecimiento empieza a decaer, otro de los datos que podemos sacar es el momento de realizar el turno final

de corta, el cual se realiza en el momento en que las líneas de IMA e ICA se cortan. Este turno de corta se alarga cuando se realizan las claras.

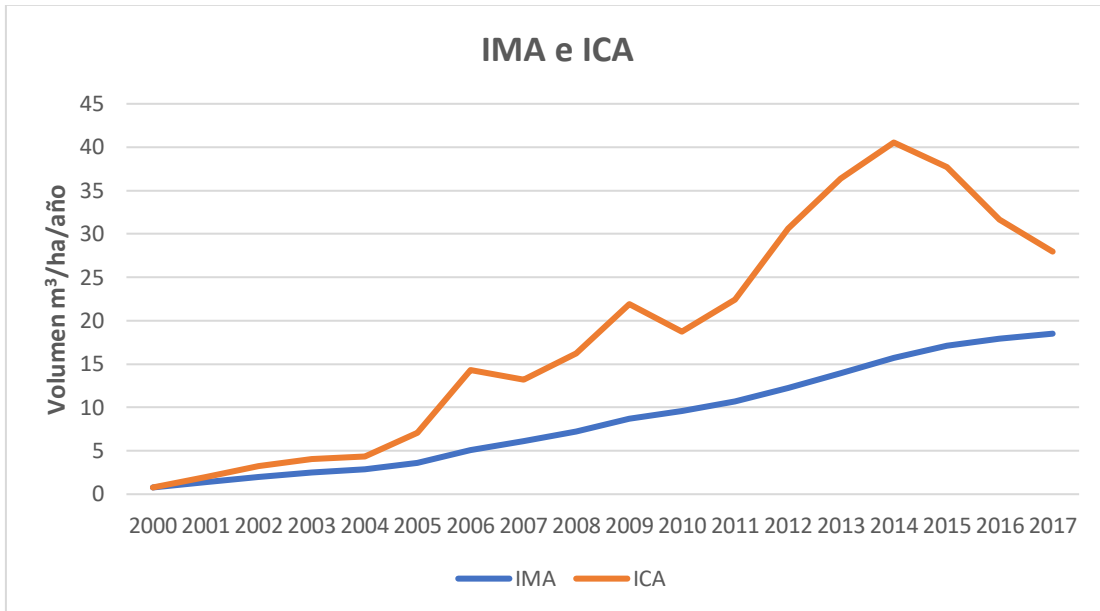


Figura 11: IMA e ICA del rodal 1.

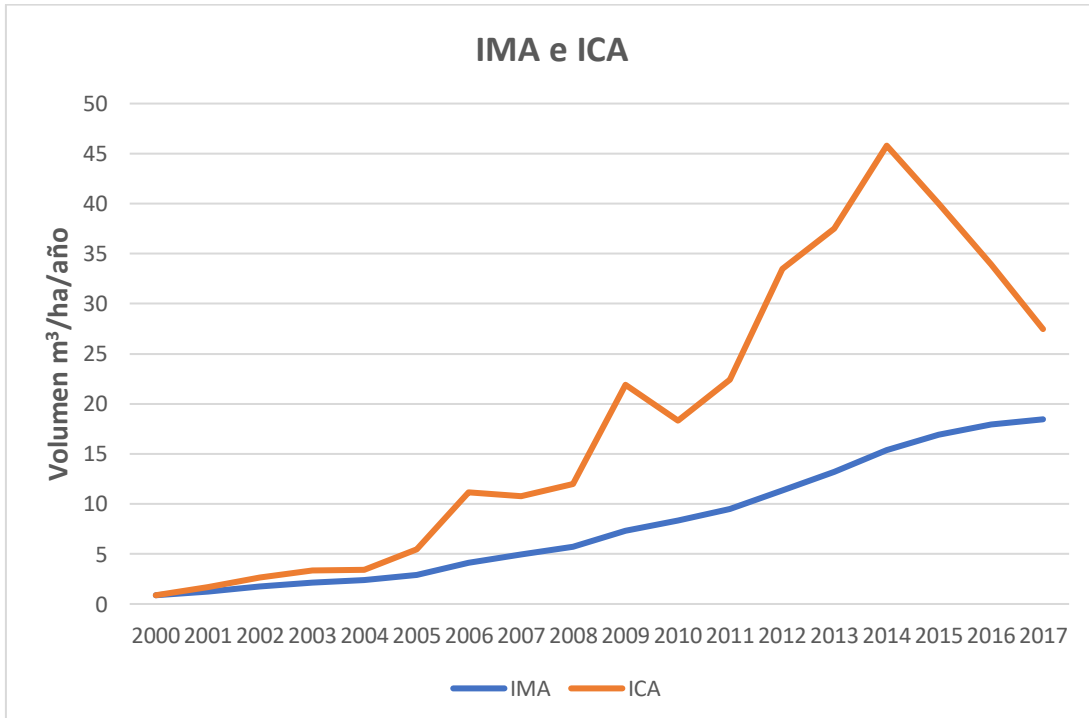


Figura 12: IMA e ICA del rodal 2.

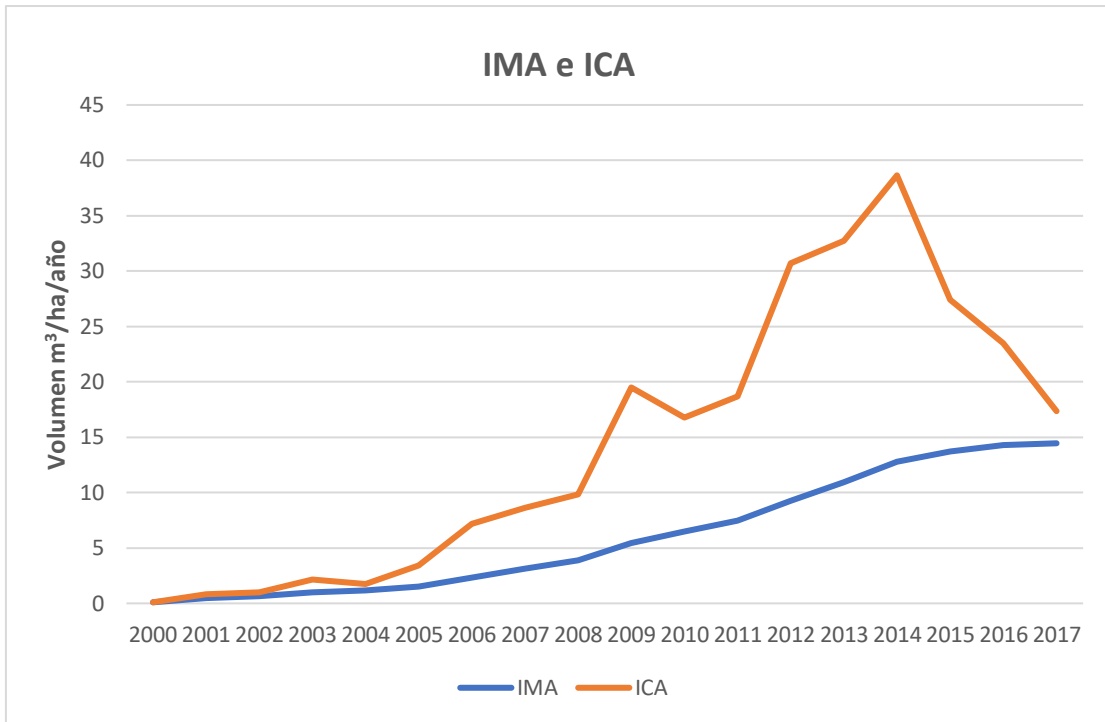


Figura 13: IMA e ICA del rodal 3.

6. Conclusiones.

La especie *Q. palustris* se desarrolla en el Norte de Uruguay, aunque harían falta más estudios para poder hacer una comparativa del desarrollo de la especie y determinar con más exactitud los parámetros de crecimiento en esta zona del país, ya que las parcelas estudiadas no tenían ningún tipo de tratamiento silvícola realizado.

Se recomienda realizar una evaluación económica para ver su viabilidad comercial en el mercado dentro del sector forestal de Uruguay, así como estudiar los posibles usos de esta madera.

La ecuación modelo que mejor resultados arroja es la ecuación número 5 ($V = 0,01 + 0,290 dap^2h$), donde la entrada de datos que se realiza en el modelo es el diámetro normal a 1,30 m. del suelo elevado al cuadrado, y la altura total del fuste.

Sin entrar en muchos detalles ya que no se ha podido realizar un estudio en profundidad para poder ver la respuesta de la especie a tratamientos selvícolas, se pretende dar algunas recomendaciones de cuidados culturales, que pasarían por realizar podas para poder obtener trozas libres de nudos, aumentando así la calidad de la madera.

Por otro lado, como podemos ver en las gráficas del IMA e ICA, la masa ha entrado en una fase en la que el Incremento Corriente Anual está decreciendo, por lo que habría que planificar unas claras para eliminar los pies dominados y codominados, dejando los mejores pies y que estos concentren el crecimiento en volumen de la masa, y así obtener trozas con mayores dimensiones.

En estas gráficas también vemos que el rodal 3 es el que menos incremento anual de volumen acumula, por lo que está produciendo menos madera, esto puede deberse a la elevada densidad de la plantación, lo que provoca una fuerte competencia por los recursos de la masa y menores tasas de crecimiento, por lo que habría que realizar una clara para reducir esta competencia.

En última instancia se recomienda realizar un estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera a partir de las muestras que se han extraído durante la realización de este estudio, para determinar así sus propiedades frente a diferentes usos industriales.

7. Bibliografía

- A. Altaminino; H. da Silva; A. Duran; A. Echevarría; D. Panario y R. Puentes (1976) *Carta de reconocimiento de suelos de Uruguay. Tomo III Descripción de las unidades de suelos*. Instituto geográfico militar. Montevideo, Uruguay.
- Burns, Russell M. y Barbara H. Honkala. (1990) *Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington DC.
- Cancino J., (2006) *Dendrometría básica*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 171p.
- Center for Wood Anatomy Research (S/F). *Technology Transfer Fact Sheet*. USDA Forest Service. Forest Products Laboratory. One Gifford Pichot Drive. Madison, Wisconsin 53726-2398.
- COFUSA, (2018). *Resumen Público del Plan de Manejo de Compañía Forestal Uruguaya S.A.* http://www.urufor.com.uy/files/Resumen_Publico_del_Plan_de_Manejo_dic_2018.pdf
- CPA FERRER, (2017) *Contribución de la Cadena Forestal a la Economía Uruguaya*. http://www.camaramercantil.com.uy/uploads/cms_news_docs/Informe%20Impacto%20Cadena%20Forestal%20CPA%20Ferrere%2022-11-17.pdf
- Chatterjee, S y Price, B. (1977) *Regression análisis by example*. New York, USA.
- Da Cunha, T. y Guimaraes, C., (2009) *Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de "Pinus tadea L." en el sur de Brasi*. Kurú: *Revista Forestal* 6 (16). Costa Rica. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/400/332>
- Escobar, M. (2015). *Estudio de la volumetría de árboles en pie de caoba (Swietenia macrophylla King) en el departamento de Madre de Dios, Perú*. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- FAO. (1980) *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos*. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/a-ap353s.pdf>
- K. V. Gadow; A. Rojo Alboreca; J. G. Álvarez González y R. Rodríguez Soalleiro., (1999). *Ensayos de crecimiento, parcelas permanentes, temporales y de intervalo*. Escola Politécnica Superior de Lugo. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario. 27002 Lugo. España.
- Ley Nro. 13.723, de 16 de diciembre de 1968 de *Recursos y Economía Forestal*. <https://legislativo.parlamento.gub.uy/temporales/leytemp6855158.htm>

Ley Nro. 15.939 del 28 de diciembre de 1987. *Ley Forestal*.
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/html/uru21325.htm>

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, (2018). *Resultados de la Cartografía Forestal Nacional*.

http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/informe_de_resultados_de_la_cartografia_2018.pdf

Mora, G. y Gómez, M. (2003) *Ecuaciones y tablas de volumen para árboles individuales en plantaciones de teca (Tectona grandis Linn.) en la vertiente del pacífico de Costa Rica*. Heredia, Costa Rica.

Nancy R. Morin; Luc Brouillet y Geoffrey A. Levin., (1997) *Flora of North America North of Mexico*. New York and Oxford. vol. 3. Eds. Flora of North America Editorial Committee.

R. A. McQuilkin., (1990) *Quercus palustris Muenchh. Pin Oak, Agriculture Handbook 654*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington DC., pp. 1366–1377.

Ruiz, E. (2007). *Elaboración de una ecuación de volumen para un bosque de terrazas alta en el Codo del Pozuzo, Puerto Inca, Huánuco*. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Salazar, R. (1989) *Guía para la investigación silicultural de especies de uso múltiple*. CATIE Turrialba, Costa Rica. 130 p.

Ugalde Arias, L. (2000) *Guía para el establecimiento y medición de parcelas para el monitoreo y evaluación del crecimiento de árboles en investigación y en programas de reforestación con la metodología del sistema MIRA-SIL*. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 14 p.

Uruguay XXI. (2018). *Oportunidades de inversión. Sector Forestal*.
<https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/sector-forestal/>

ANEXOS

ANEXO I: PLANTILLA PARA LA TOMA DE DATOS EN CAMPO

ESTADILLO DE CAMPO PARA LA TOMA DE DATOS

Parcela
 Fecha medición
 Ubicación
 Coordenadas X Y

Especie
 Edad
 Sup. parcela

Nº arbol	DAP (cm)	h (m)	Dominancia	Sanidad	Forma fuste	CÓDIGOS
1						DOMINANCIA
2						A = Dominante
3						B = Codominante
4						C = Dominado
5						
6						SANIDAD
7						a = Vigoroso
8						b = Muerto en pie
9						c = Muerto caído
10						d = Parte copa muerta
11						
12						FORMA FUSTE
13						0 = Recto
14						1 = Sinuoso
15						2 = Bifurcado
16						3 = Inclinado
17						4 = Tumores
18						5 = Con plagas
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						

ANEXO II: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DIFERENTES MODELOS DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN.

- $V = b_0 + b_1 \text{dap}$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	DAP ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,878 ^a	,770	,768	,08136740	,840

a. Predictores: (Constante), DAP

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,351	1	2,351	355,100	,000 ^b
	Residuo	,702	106	,007		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), DAP

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,101	,014	-7,342	,000	-,128	-,074
	DAP	1,719	,091	18,844	,000	1,538	1,900

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	H ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,757 ^a	,573	,569	,11087375	,918

a. Predictores: (Constante), H

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,750	1	1,750	142,335	,000 ^b
	Residuo	1,303	106	,012		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), H

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,107	,021	-5,021	,000	-,149	-,065
	H	,021	,002	11,930	,000	,018	,025

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 dxh$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	dxh ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,959 ^a	,920	,919	,04795951	1,235

a. Predictores: (Constante), dxh

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,809	1	2,809	1221,232	,000 ^b
	Residuo	,244	106	,002		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), dxh

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,037	,006	-5,917	,000	-,050	-,025
	dxh	,088	,003	34,946	,000	,083	,093

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 d^2$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2 ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,906 ^a	,821	,819	,07179175	1,377

a. Predictores: (Constante), d2

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,506	1	2,506	486,307	,000 ^b
	Residuo	,546	106	,005		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2

Coefficientes^a

Modelo	B	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		Desv. Error				Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,014	,009	-1,515	,133	-,031	,004
	d2	5,746	,261	22,052	,000	5,229	6,262

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 d a p^2 h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,981 ^a	,962	,961	,03318504	1,606

a. Predictores: (Constante), d2xh

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,936	1	2,936	2666,118	,000 ^b
	Residuo	,117	106	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	,010	,004	2,537	,013	,002	,017
	d2xh	,290	,006	51,634	,000	,279	,301

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1d_1 + b_2d_1^2$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2, DAP ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,912 ^a	,832	,829	,06993071	1,078

a. Predictores: (Constante), d2, DAP

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,539	2	1,270	259,626	,000 ^b
	Residuo	,513	105	,005		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2, DAP

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,045	,015	-3,012	,003	-,074	-,015
	DAP	,535	,206	2,592	,011	,126	,944
	d2	4,145	,668	6,205	,000	2,820	5,469

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 d a p^2 + b_2 h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	H, d2 ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,916 ^a	,838	,835	,06856121	1,322

a. Predictores: (Constante), H, d2

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,559	2	1,280	272,220	,000 ^b
	Residuo	,494	105	,005		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), H, d2

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,050	,014	-3,613	,000	-,077	-,023
	d2	4,835	,368	13,123	,000	4,105	5,566
	H	,005	,002	3,350	,001	,002	,009

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 \text{dap} + b_2 h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	H, DAP ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,879 ^a	,772	,768	,08144422	,877

a. Predictores: (Constante), H, DAP

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,356	2	1,178	177,615	,000 ^b
	Residuo	,696	105	,007		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), H, DAP

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,108	,016	-6,902	,000	-,139	-,077
	DAP	1,594	,167	9,563	,000	1,264	1,925
	H	,002	,002	,894	,373	-,003	,007

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 daph + b_2 h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	H, dxh ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,977 ^a	,954	,954	,03641105	1,324

a. Predictores: (Constante), H, dxh

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,914	2	1,457	1098,830	,000 ^b
	Residuo	,139	105	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), H, dxh

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	,022	,008	2,692	,008	,006	,038
	dxh	,119	,004	29,629	,000	,111	,127
	H	-,011	,001	-8,883	,000	-,013	-,009

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1h + b_2dap^2h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh, H ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,981 ^a	,963	,962	,03287695	1,649

a. Predictores: (Constante), d2xh, H

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,939	2	1,470	1359,658	,000 ^b
	Residuo	,113	105	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh, H

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,001	,007	-,117	,907	-,015	,013
	H	,001	,001	1,731	,086	,000	,003
	d2xh	,279	,008	33,174	,000	,263	,296

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1dap + b_2dap^2h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh, DAP ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,982 ^a	,963	,963	,03261783	1,634

a. Predictores: (Constante), d2xh, DAP

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,941	2	1,471	1382,184	,000 ^b
	Residuo	,112	105	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh, DAP

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,003	,007	-,454	,651	-,017	,011
	DAP	,164	,075	2,172	,032	,014	,314
	d2xh	,269	,011	23,550	,000	,246	,291

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 d a p^2 + b_2 d a p^2 h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh, d2 ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,982 ^a	,965	,964	,03192590	1,708

a. Predictores: (Constante), d2xh, d2

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,946	2	1,473	1445,045	,000 ^b
	Residuo	,107	105	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh, d2

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	,004	,004	,930	,355	-,004	,012
	d2	,816	,264	3,086	,003	,292	1,339
	d2xh	,256	,012	20,761	,000	,232	,281

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 daph + b_2 dap^2 h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh, dxh ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,982 ^a	,965	,964	,03190378	1,638

a. Predictores: (Constante), d2xh, dxh

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,946	2	1,473	1447,123	,000 ^b
	Residuo	,107	105	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh, dxh

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,002	,005	-,381	,704	-,012	,008
	dxh	,019	,006	3,112	,002	,007	,031
	d2xh	,231	,020	11,599	,000	,191	,270

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1 d a p^2 + b_2 d a p h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	dxh, d2 ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,961 ^a	,924	,922	,04714704	1,218

a. Predictores: (Constante), dxh, d2

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,819	2	1,410	634,185	,000 ^b
	Residuo	,233	105	,002		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), dxh, d2

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,037	,006	-5,899	,000	-,049	-,024
	d2	,950	,439	2,164	,033	,080	1,820
	dxh	,075	,006	11,865	,000	,063	,088

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1dap^2 + b_2h + b_3dap^2h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh, H, d2 ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,983 ^a	,965	,964	,03188184	1,727

a. Predictores: (Constante), d2xh, H, d2

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,947	3	,982	966,458	,000 ^b
	Residuo	,106	104	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh, H, d2

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,003	,007	-,364	,716	-,016	,011
	d2	,748	,270	2,767	,007	,212	1,285
	H	,001	,001	1,136	,259	-,001	,002
	d2xh	,252	,013	19,534	,000	,226	,277

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3daph$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	dxh, d2, DAP ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,969 ^a	,939	,937	,04241744	1,394

a. Predictores: (Constante), dxh, d2, DAP

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,866	3	,955	530,903	,000 ^b
	Residuo	,187	104	,002		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), dxh, d2, DAP

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	,004	,010	,407	,685	-,015	,023
	DAP	-,812	,160	-5,072	,000	-1,130	-,495
	d2	1,909	,438	4,360	,000	1,041	2,777
	dxh	,098	,007	13,468	,000	,084	,113

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3dap^2h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh, DAP, d2 ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,982 ^a	,965	,964	,03206803	1,698

a. Predictores: (Constante), d2xh, DAP, d2

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,946	3	,982	954,867	,000 ^b
	Residuo	,107	104	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh, DAP, d2

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	,002	,007	,303	,762	-,012	,017
	DAP	,026	,098	,267	,790	-,168	,221
	d2	,754	,351	2,152	,034	,059	1,450
	d2xh	,255	,013	19,883	,000	,230	,281

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1d_{ap} + b_1d_{aph} + b_1d_{ap}^2h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	d2xh, DAP, dxh ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,982 ^a	,965	,964	,03204131	1,633

a. Predictores: (Constante), d2xh, DAP, dxh

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,946	3	,982	956,518	,000 ^b
	Residuo	,107	104	,001		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), d2xh, DAP, dxh

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,001	,007	-,078	,938	-,014	,013
	DAP	-,037	,118	-,317	,752	-,271	,197
	dxh	,022	,010	2,194	,030	,002	,041
	d2xh	,228	,022	10,563	,000	,185	,271

a. Variable dependiente: V

- $V = b_0 + b_1dap + b_2dap^2 + b_3h$

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	H, d2, DAP ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: V

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,916 ^a	,839	,835	,06868762	1,225

a. Predictores: (Constante), H, d2, DAP

b. Variable dependiente: V

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,562	3	,854	181,017	,000 ^b
	Residuo	,491	104	,005		
	Total	3,053	107			

a. Variable dependiente: V

b. Predictores: (Constante), H, d2, DAP

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-,055	,015	-3,589	,001	-,086	-,025
	DAP	,199	,254	,784	,435	-,304	,702
	d2	4,401	,666	6,605	,000	3,079	5,722
	H	,005	,002	2,199	,030	,000	,009

a. Variable dependiente: V

Resumen

Este trabajo se ha centrado en el estudio del crecimiento y producción de madera de *Quercus palustris*, uno de los robles rojos americanos, con el fin de cuantificar el crecimiento de esta especie en el Norte de Uruguay, y así generar información para el potencial uso de esta especie como alternativa en plantaciones forestales en Uruguay.

Para la realización del estudio se ha procedido a la medición de los árboles, después, mediante un análisis estadístico se determinó la mejor ecuación de cubicación de entre todos los modelos de ecuaciones simulados. Asimismo, se ha realizado un estudio dendrométrico de diferentes clases diamétricas, para poder estudiar el crecimiento de la especie y determinar en qué momento hay que realizar claras y clareos, con el fin de aumentar la calidad y de la madera.

Los resultados obtenidos indican que la especie mantiene una tasa de crecimiento similar en las parcelas estudiadas. De los modelos de ecuaciones estudiados el que más se ajusta es el que utiliza como variable independiente el diámetro a la altura del pecho al cuadrado multiplicado por la altura ($V = b_0 + b_1dap^2h$).

Palabras clave: ecuaciones de volumen, *Quercus palustris*, dendrocronología, clases diamétricas, DAP, regresión lineal.

Abstract

This work has focused on the study of the growth and production of wood of *Quercus palustris*, one of the American red oaks, in order to quantify the growth of this species in northern Uruguay, and thus generate information for the potential use of this species as an alternative in forest plantations in Uruguay.

In order to carry out the study, the trees were measured and then, by means of a statistical analysis, the best cubication equation was determined among all the models of simulated equations. In addition, a dendrometric study of different diameter classes has been carried out in order to study the growth of the species and determine at what moment clearings and thinnings should be carried out in order to increase the quality of the wood.

The results obtained indicate that the species maintains a similar growth rate in the plots studied. Of the models of equations studied, the one that best fits is the one that uses as an independent variable the diameter at chest height squared multiplied by height ($V = b_0 + b_1dap^2h$).

Key words: volume equations, *Quercus palustris*, dendrochronology, diameter classes, DAP, linear regression.