

NOTA TÉCNICA

Productividad, calidad potencial de rollizos y características de la canopia en taxones de pinos en Misiones, Argentina

Productivity, potential log quality, and characteristics of the canopy in pine taxa in Misiones, Argentina

Belaber E.¹; R. A. Winck¹; M. E. Gauchat¹; C. Rotundo¹; C. Bulman¹
y H. E. Fassola¹

Recibido en abril de 2022; aceptado en octubre de 2022

RESUMEN

En el año 1996 se estableció un ensayo en bloques de taxones de pinos en Cerro Azul, provincia de Misiones, Argentina. A los 19 años se evaluaron las parcelas de taxones de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, ambos de huertos semilleros clonales locales, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, el híbrido entre *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (F1), su F2 de polinización abierta y las retrocruzas de F1 x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y *Pinus elliottii*, todos ellos procedentes de Australia. Se determinó la productividad de los mismos, características de la canopia como la longitud de copa verde, la cantidad de internodos largos mayores a 0,60 m por debajo de los 6,20 m de altura. Posteriormente se procedió a establecer las diferencias entre taxones con modelos lineales generales y mediante el test DGC se realizaron comparaciones de medias. Los taxones de mayor productividad fueron *Pinus taeda* y el híbrido F1. Se determinaron diferencias estadísticas entre los ideotipos de copa de los taxones. *Pinus elliottii* fue el taxón que tuvo la mayor cantidad de internodos largos por debajo de los 6,20 m de altura y también la mayor sumatoria de estos por árbol y por hectárea. En estas últimas características se destacó también la retrocruza de F1 x *Pinus elliottii*. Es necesario incluir en los estudios de fenotipado de *Pinus* spp. la arquitectura y estructura de copas, ya que inciden en los procesos de transformación mecánica.

Palabras claves: estructura copa, entrenudos largos, índice de entrenudos.

ABSTRACT

In 1996, a pine taxa trial was established in Cerro Azul, Misiones province, Argentina. Nineteen years later, it was evaluated the plots of *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, both from local clonal seed orchards, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, the hybrid between *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (F1), its open-pollinated F2 and backcrosses of F1 x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus elliottii*, all of them from Australia. It was determined their productivity and canopy characteristics, such as the length of the green crown, the number of long internodes greater than 0.60 m below 6.20 m in height. Subsequently, the differences between taxa were established using general linear models and by means of the DGC test, comparisons of means were made. It was possible to determine the higher productivity of *Pinus taeda* and F1 hybrid. Differences among the crown ideotypes, were also determined. *Pinus elliottii* was the taxon showing the largest number of long internodes below 6.20 m in height and the largest sum of these per tree and per hectare. In the latter characteristics, the F1 x *Pinus elliottii* backcross also highlighted. It is necessary to include crown architecture and structure in future phenotyping studies of *Pinus* sp., since they affect the mechanical transformation processes

Keywords: crown structure, long internodes, internode index.

1 INTA EEA - Montecarlo. Av. El Libertador 2472. (N3384) Montecarlo. Misiones. Argentina. E-mail: fassola.hugo@inta.gob.ar

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, las provincias de Misiones y Corrientes contribuyen fuertemente a la producción de madera aserrada de pino y sus productos remanufacturados. En este segmento de la industria existe un grupo de empresas que se insertan en mercados internacionales y lo hacen básicamente a través del agregado de valor a la madera de pinos (IPEC, 2020; Escobar 2021). La industria de la remanufactura se basa en la transformación de los productos del aserrío. Por ejemplo, algunos de los procesos consisten en la obtención de madera libre de nudos a partir de una pieza lograda en el proceso de aserrado de rollizos podados y del saneo de tablas con nudos para obtener Blocks y Rips Clear, con los cuales se obtienen los Cutstocks (21” hasta 42” de largo) y Blanks (mínimo 5” de largo) con diferentes destinos (Vilches Zurita, 2005). Fernández *et al.* (2017) mediante un estudio de sensibilidad realizado en Nueva Zelanda en rollizos de pino radiata, mencionan que el diámetro menor del rollizo y la longitud del entrenudo (distancia entre la parte superior de un grupo de ramas y la inferior del siguiente), fueron las variables que mejor se correlacionaron con la calidad de la madera aserrada. Por este motivo la arquitectura y estructura de copa son relevantes en los programas de mejoramiento genético, como también los estudios de dinámica, cosecha y procesamiento de la madera. Australia, con una larga trayectoria en el mejoramiento de coníferas, cuenta con un Huerto Semillero Clonal (HSC) de *Araucaria cunninghami*, tanto para producción de material reproductivo de internudos largos como de internudos cortos (Dieters *et al.*, 2013). En el género *Pinus*, son conocidos los trabajos llevados adelante en *Pinus radiata* en Nueva Zelanda (Carson, 1988; Carson & Inglis, 1988), el cual puede producir de uno a cinco internudos en una temporada de crecimiento. Estas grandes variaciones en el largo de los internudos son de alto interés tanto para el mejoramiento, como para el procesamiento industrial de la madera (Kumar *et al.*, 2009). Carbaugh (2015) evaluó el desarrollo de la arquitectura de la copa de seis genotipos de *Pinus taeda* (PT) a través de diferentes condiciones de crecimiento, como también la estabilidad de los ideotipos de copas de los mismos en distintos sitios y regímenes silviculturales. En dicha evaluación determinó interacciones entre el diámetro de ramas, cantidad total de ramas, largo de internudos y área foliar total, con mayores valores de estos parámetros, en los ideotipos de copa grande.

Los estudios de Fassola *et al.* (2009) y Sañudo *et al.* (2021) realizados en Argentina, evaluaron la estructura y arquitectura de copas en plantaciones de PT. Por ejemplo, Sañudo *et al.* (2021) al evaluar individuos de distintos estratos sociales de PT apeados en el NE de Corrientes y en la provincia de Misiones, determinaron un largo de entrenudos promedio de 0,73 m, una mediana de 0,53 m, y valores máximo y mínimo de 1,50 m y 0,20 m, respectivamente. Sin embargo, no se conocen estudios locales que hayan evaluado la arquitectura de copa en otras especies y taxones de pino de importancia económica para el sector forestal en Argentina, considerando su importancia y los avances en su mejoramiento, que incluyen híbridos, intra e inter específicos (Gauchat *et al.*, 2012). La existencia de un ensayo conformado por 18 taxones de *Pinus* subtropicales y tropicales, perteneciente a una red instalada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) entre los años 1996 y 1997 en la Provincia de Misiones (Pahr *et al.*, 2002, Cappa *et al.*, 2013), brindó la posibilidad de plantear hipótesis relativas a las diferencias de productividad e ideotipos de copa entre algunos de ellos. Por tal motivo, los objetivos de este trabajo fueron evaluar y contrastar el crecimiento y características de copa en las especies PT, *Pinus elliottii* (PEE), *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH), filiales F1² y F2³ del híbrido entre PEE × PCH, sus retrocruzas por el parental femenino (PEE × F1) y por el parental masculino (F1 × PCH). Esta información podrá ser utilizada por el programa de mejora y silvicultura de pinos del INTA para analizar su potencial impacto positivo en la inserción de productos de madera argentina en mercados extra regionales o globales.

² F1: material seminal híbrido obtenido mediante polinización controlada

³ F2: material seminal híbrido obtenido de la polinización libre de F1

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético, descripción del ensayo y caracteres evaluados

Los materiales genéticos corresponden a diferentes taxones del género *Pinus* implantados entre los años 1996 y 1997 bajo una red conformada por 4 ensayos, dos de ellos establecidos en Entre Ríos y dos en Misiones, Argentina. El ensayo evaluado en este estudio, implantado en setiembre de 1996, se ubica en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Cerro Azul Misiones (27° 39' 18.89" S - 55° 25' 48.80" O, Figura 1). El mismo contiene 18 de un total de 31 taxones evaluados en la red. Para este estudio, se seleccionaron siete taxones en base a los comportamientos observados en estudios previos realizados en los ensayos ubicados en la localidad Puerto Esperanza y Cerro Azul (Pahr *et al.*, 2002; Cappa *et al.*, 2013). Cinco de los taxones proceden de CSIRO, Australia y corresponden a *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH), las F1 y F2 del híbrido de *Pinus elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE × PCH) y las retrocruzas de PEE × F1 y F1 × PCH. Los dos taxones restantes corresponden a los materiales de procedencia local, PEE del HSC de INTA Cerro Azul, Misiones y PT procedencia Marion County del HSC de APSA, Misiones (Cappa *et al.*, 2013).

El diseño del ensayo fue el de bloques con tratamientos al azar y 4 repeticiones, de los cuales, en esta oportunidad por razones que restringían el desplazamiento, se midieron tres en forma completa. Las parcelas de forma cuadrada contienen un total de 25 árboles implantados a 3 m x 3 m; correspondiendo la fila exterior a bordura y los 9 ejemplares internos a la parcela evaluada. Mayores detalles de los materiales ensayados y de las características del sitio pueden verse en Cappa *et al.* (2013).

Sobre los 7 taxones seleccionados para este estudio, en noviembre de 2019 se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total (h), la altura dominante (Hdom) (Asmann, 1970) y la altura de base de copa verde (bcv) de todos los ejemplares vivos de cada parcela de los 3 bloques del ensayo. La Hdom, conjuntamente con la edad, permitió estimar los índices de sitio (IS) de PEE y PT, que contaban con dichos modelos desarrollados para la región, (Fassola y Wabo, 1993; Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento, 1999).

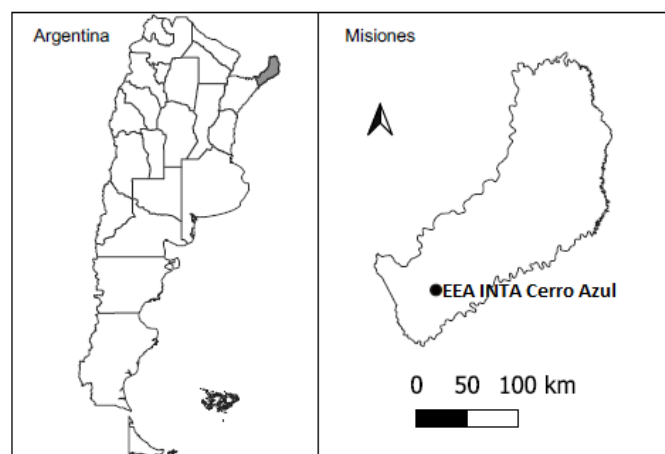


Figura 1. Ubicación del ensayo de taxones de pinos subtropicales y tropicales
(Fuente EEA Montecarlo, 2021)

A fin de reconstruir la estructura de la copa hasta una altura de 6,20 m desde el suelo, en mayo de 2021 se evaluó en cada individuo la cantidad de entrenudos mayores a 0,60 m (cil) y la sumatoria de la longitud de entrenudos largos (sil), similar a lo realizado por Jayawickrama *et al.* (1997). Para la medición de entrenudos mayores a 0,60 m se utilizó una regla graduada de 7 m de longitud, registrándose la altura de ocurrencia del límite inferior y superior de cada aglomerado de ramas,

determinando estos por las oclusiones de los verticilos o por la presencia eventual de ramas muertas. Dicha identificación se realizó con 3 operadores por árbol, debido a la necesidad de realizar observaciones desde la altura del suelo y desde distintos ángulos, en virtud del desrame y el tiempo transcurrido desde su ocurrencia. La falta de tratamientos silvícolas, podas o raleos, favoreció que la oclusión fuera aún observable. En los casos donde la base de un internudo largo se encontraba por debajo de 6,20 m y su longitud superaba esa altura, era computado y se consideraba solo el largo del mismo hasta los 6,20 m.

Procesamiento y análisis estadístico

Previo al análisis estadístico se procesaron las variables medidas a campo. En primer lugar, se estimó los volúmenes individuales y por unidad de superficie, con corteza (VOL CC) y sin corteza (VOL SC). Para los taxones PCH, F1, PEE $\times$ F1 y F1 $\times$ PCH se empleó la función de volumen desarrollada para F1 por Keller y Crechi (2015), y para PEE y PT las ecuaciones de volumen ajustadas por Crechi *et al.* (2006) y Keller *et al.* (2006), respectivamente. Además, se determinó el área basal por hectárea (G), el diámetro cuadrático a la altura de pecho (DAPq), la altura promedio (H), la altura media de la base de copa verde (HBCV), la sumatoria de longitudes de copa verde por hectárea (LCV), el índice de Reineke (IDR) y el porcentaje de espaciamiento de Hart-Becking (FE) como expresiones de la densidad y competencia (Bravo *et al.*, 1997). En base a la cantidad total de entrenudos $>$ a 0,60 m y a la sumatoria de sus longitudes, se determinó el largo de entrenudos por hectárea (CIL) y el largo de entrenudos por unidad de superficie (SIL). Posteriormente se determinó el índice de entrenudos promedio (IIN) de acuerdo a Jayawickrama *et al.* (1997), la sumatoria del largo de entrenudos por hectárea (SIL), y el porcentaje promedio de árboles con presencia de entrenudos largos (CARBINL).

Para estimar las medias de los taxones y evaluar la significancia estadística entre ellos se empleó el siguiente modelo lineal:

$$y_{jk} = \mu + \beta_j + T_k + e_{jk}$$

Donde:

y_{jk} = es la media general de cada variable dependiente del k th taxón correspondiente al j th bloque; μ = es la media general; β_j = es el efecto fijo del j th bloque; T_k = es el efecto fijo del k th taxón, y e_{jk} = es el término de los residuales aleatorios.

Dichas estimaciones fueron realizadas mediante el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008; Balzarini *et al.*, 2008). Concurrentemente con la estimación de medias, se seleccionó para realizar la comparación múltiple de las mismas el test DGC (Di Rienzo *et al.*, 2002). Este test, según Balzarini *et al.* (2012), permite la separación de medias utilizando la técnica multivariada del análisis de conglomerados (encadenamiento promedio), sobre una matriz de distancia entre medias muestrales de tratamientos. Como consecuencia de este análisis fue posible obtener un dendrograma que hizo posible observar la secuencia jerárquica de formación de conglomerados, evitando la superposición de medias y reduciendo la cantidad de grupos (Di Rienzo *et al.*, 2002). El nivel de significancia empleado fue del 5 %.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de estado del árbol y por unidad de superficie de los taxones

Efectuado el análisis mediante el modelo lineal seleccionado se determinó que había diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los taxones estudiados para las variables del árbol DAP, g, hbcv, Hdom, cil y sil; a excepción de la h. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos del test de comparaciones múltiples, DGC. Los mayores DAP se registraron para los taxones $PT > PCH > F1 > PEE \times F1$ y los menores fueron observados en los taxones $F1 \times PCH$ y PEE. El área basal individual registro un comportamiento similar. La h no exhibió diferencias significativas entre los distintos taxones ($p > 0,05$), aunque $PT > F1 > PEE \times F1$ alcanzaron los mayores desarrollos, entre 36 m y 33 m y PEE tuvo el menor desarrollo, 29,5 m. Sí hubo diferencias significativas en Hdom donde PT, que constituyó el grupo A, alcanzó los 40 m. El grupo C, el de menor Hdom, se correspondió con PEE, 33,1 m. El resto de los taxones, cuyas Hdom alcanzaron un máximo de 39,2 m y un mínimo de 38,0 m, constituyeron el grupo B. Dado que Hdom es expresión de la calidad de sitio y que para los casos de PT y PEE, se dispone de funciones de sitio, se estimaron (IS), utilizando simuladores de crecimiento específicos (Keller *et al.*, 2017), obteniéndose valores de 33 y 26, respectivamente. En el caso de PT se supera el límite superior de las curvas existentes en los modelos regionales (Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento, 1999) y para PEE se alcanzó el máximo determinado a campo por Fassola y Wabo (1993). Esta variable no fue considerada por Cappa *et al.* (2013) en la evaluación realizada a los 10 años, pero proyecciones de las alturas a esa edad, se situaron también sobre los límites superiores de los modelos de IS disponibles, indicando un alto potencial productivo para PEE y PT en ese sitio. También debe considerarse que la edad base para ambas funciones de IS fue de 15 años y el error de estimación de este, a medida que se aleje de esa edad, lo incrementa (Fassola y Wabo, 1993).

En cuanto a elementos propios de la arquitectura y de estructura de copas como hbcv, que por un lado refleja la capacidad de desrame de los taxones y por otro su capacidad de mantener una copa fotosintéticamente activa, se determinó tres grupos o conglomerados con diferencias significativas entre ellos (Tabla 1). El grupo A, con la mayor hbcv, se correspondió con PT y el grupo C, con la menor hbcv, correspondió a $F1 \times PCH$, integrando el resto de los taxones el grupo B, de hbcv intermedias. La diferencia entre h y hbcv reflejó que tanto PT como $F1$ y sus retrocruzas, tenían longitudes de copa entre 14,1 m y 13,6 m, mayores a las de $F2$ y PCH, con 12,8 m y muy superiores a las de PEE, que alcanzo 10,1 m. Explicando esto, parcialmente, los mayores crecimientos a nivel individual de PT y los taxones híbridos. En cuanto a la variable de estado cil, PEE, que conjuntamente con $PEE \times F1$ y $F2$ constituyeron un conglomerado sin diferencias entre ellos, presentó diferencias significativas en relación al resto de los taxones, con una media de 2 entrenudos largos por árbol. El resto los taxones registraron menos de 2 entrenudos largos por árbol. Situación similar ocurrió con la sumatoria del largo de los entrenudos (sil) (Tabla 1).

La Tabla 2 muestra las variables de estado forestal y producción a nivel de unidad de superficie de los siete taxones de pinos estudiados. Respecto de los ejemplares sobrevivientes (N), estos fueron mayores en PCH y $F1 \times PCH$, con más de 895 y 864 árboles.ha⁻¹, los otros taxones presentaron 805 o menos árboles.ha⁻¹.

Como resultado del Test DGC, se determinó que había diferencias significativas en el DAPq entre taxones (p -valor $< 0,05$), con mayor valor para $F1$ (grupo A), seguido por PT, PCH y $PEE \times F1$ (grupo B), luego $F2$ y $F1 \times PCH$ (grupo C) y por último PEE (grupo D). En cuanto al área basal por hectárea (G.ha⁻¹), los valores alcanzados por PCH y $F1$, sin diferencias estadísticas entre ellos, fueron superiores a los observados para los demás taxones. Sus valores superaron los de $F1 \times PEE$, que también alcanzó valores destacables y a PT, que de hecho en este ensayo superó a los máximos alcanzados, con ocupación completa, en otros sitios en la región, donde se registraron unos 54 m².ha⁻¹ (Crechi *et al.*, 2014). Los menores valores se determinaron en PEE (Tabla 2).

Tabla 1. Resultados del test DGC de las variables de estado de árboles del ensayo de taxones de pinos

Trat #	taxón	DAP (E.E.) Cm	g (E.E.) m ²	h (E.E.) m	hbcv (E.E.) m	Hdom (E.E.) m	cil (E.E.) #	sil (E.E.) m
1	PT	32,9 (1,6) A	0,09 (0,01) A	36,2 (1,3) A	22,4 (1,0) A	40,2 (0,6) A	1,1 (0,2) B	0,90 (0,19) B
6	PEE	24,8 (1,6) B	0,05 (0,01) B	29,5 (1,3) A	19,4 (1,0) B	33,1 (0,6) C	2,3 (0,2) A	1,94 (0,19) A
7	F ₁ × PCH	27,9 (1,5) B	0,07 (0,01) B	30,7 (1,2) A	16,6 (0,9) C	38,1 (0,5) B	1,3 (0,2) B	1,07 (0,17) B
8	PEE × F ₁	30,9 (1,5) A	0,08 (0,01) A	33,0 (1,2) A	19,4 (1,0) B	38,0 (0,5) B	1,8 (0,2) A	1,46 (0,18) A
9	F ₂	28,1 (1,5) B	0,07 (0,01) B	31,3 (1,2) A	18,5 (1,0) B	38,3 (0,5) B	1,8 (0,2) A	1,59 (0,18) A
10	F ₁	32,4 (1,5) A	0,09 (0,01) A	34,5 (1,2) A	20,5 (0,9) B	39,2 (0,5) B	1,2 (0,2) B	0,93 (0,18) B
12	PCH	32,6 (1,5) A	0,09 (0,01) A	32,6 (1,2) A	19,8 (0,9) B	39,0 (0,5) B	1,3 (0,2) B	1,17 (0,17) B
Bloque		n.s. ($p > 0,05$)	n.s. ($p > 0,05$)	n.s. ($p > 0,05$)	n.s. ($p > 0,05$)	n.s. ($p > 0,05$)	n.s. ($p > 0,05$)	B2 A; B3 y B1 B

Letras iguales no hay diferencias significativas al $p < 0,05$

Donde: **DAP**: diámetro a 1,3 m de altura (DAP); **g**: área basal del árbol; **h**: altura total del árbol; **hbcv**: altura de la base de copa verde del árbol; **Hdom**: altura dominante; **cil**: cantidad de entrenudos > a 0,60 m de longitud en el árbol y **sil**: sumatoria de internudos largos del árbol; error estándar E.E.

El VOL SC, arrojó diferencias significativas entre taxones ($p < 0,05$), fue superior en F₁, PT, y PCH, no existiendo diferencias estadísticas entre ellos. Seguidos en segundo término por PEE × F₁, luego por F₁ × PCH y F₂, que no presentaron diferencias ($p > 0,05$). Todos los taxones superaron significativamente a PEE ($p < 0,05$), el material de menor desempeño en producción en VOL SC. El comportamiento observado es similar a lo reportado por Cappa *et al.*, (2013) para este sitio. La producción en VOL CC.ha⁻¹ para PT fue un 50 % mayor a la determinada a los 21 años en parcelas sin poda y sin raleo, ubicadas en Sto. Tomé, Corrientes, en un IS 24, el cual era una calidad de sitio alta y con N.ha⁻¹ de 968 y 691 (Pezzutti, 2011). Para F₂ fue un 8 % inferior a la determinada a los 23 años en Puerto Esperanza, Misiones, en parcelas sin poda y sin raleo, con 60 ejemplares menos ha⁻¹ (Keller y Crechi, 2020).

En cuanto al indicador de densidad y competencia, IDR, el agrupamiento con mayores valores fue el de PCH > F₁; en el segundo grupo se ubicaron PEE × F₁ > PT; en el tercero F₁ × PCH y F₂ y por último PEE con el menor IDR. En el caso de FE, no tuvo diferencias significativas entre los valores alcanzados por los taxones, salvo con PEE que presentó los valores más elevados (11 %), indicando un mayor espaciamiento. De acuerdo con lo señalado en el Manual Técnico Simuladores de Crecimiento V.2 (Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento, 1999), el IDR máximo de PT es de 1250 y el óptimo de 750, coincidiendo este con un FE % del 17 %, por lo cual puede considerarse que se ubica netamente en la zona de máximas existencias. Considerando la bibliografía existente sobre indicadores de relaciones tamaño densidad para otros taxones y analizando el trabajo de Ferrere *et al.* (2001), este permitió comprobar que el FE mínimo alcanzado por *Pinus caribaea* var *caribaea* fue de 13 % y del 20 % el correspondiente al momento de máximo incremento volumétrico, coincidiendo con un IDR de 717. Estos valores fueron similares a los utilizados en *Pinus elliottii* por Day y Gonda (1987), quienes identificaron un FE del 21 % como límite de la zona de manejo. En virtud de ello sería posible asumir que tanto PCH, como F₁, F₂ y las retrocruzas, tendrían un comportamiento similar, dado que son taxones cercanos genéticamente. Pudiéndose inferir que PCH, F₁, sus retrocruzas y F₂, se ubicaron en la zona de mortalidad por competencia y posiblemente sobre la línea de máximas existencias. En el caso de PEE, si bien está en zona de mortalidad, se encuentra más cercano a la línea de máximo incremento, influyendo en ello la mortalidad y los menores DAPq y Hdom en relación a los otros taxones. Estos elevados índices de competencia y los elevados índices de sitio, que se infieren de las Hdom alcanzadas a los 23 años (Tabla 1), pueden explicar en parte las elevadas G.ha⁻¹ y VOL.ha⁻¹ determinadas en los taxones analizados (Tabla 2). Otro factor puede ser atribuido a que ocurra una sobreestimación de estas variables de competencia y productivas debido al tamaño reducido de cada parcela.

Tabla 2. Variables de estado y producción de los taxones de pinos por unidad de superficie y resultados del Test DGC.

Trat	Taxón	N Árb.ha ⁻¹	DAPq cm	G m ² .ha ⁻¹	H m	IDR	FE %	VOL SC m ³ .ha ⁻¹	VOL CC m ³ .ha ⁻¹
1	PT	717	33,7 (1,04) B	62 (2,6) B	35,5 (0,5) A	1123 (45) B	9 (0,22) B	1216 (43) A	1250 (48) B
6	PEE	737	25,1 (1,04) D	36 (2,6) D	30,6 (0,5) C	732 (45) D	11 (0,22) A	524 (43) D	598 (48) D
7	F ₁ × PCH	864	27,7 (0,98) C	52 (2,3) C	30,7 (0,5) C	1022 (41) C	9 (0,20) B	875 (39) C	1042 (43) C
8	PEE × F ₁	805	31,6 (0,98) B	64 (2,4) B	33,0 (0,5) B	1179 (43) B	9 (0,21) B	1023 (41) B	1211 (46) B
9	F ₂	787	29,3 (0,98) C	52 (2,3) C	32,7 (0,5) B	1007 (43) C	9 (0,21) B	840 (41) C	1000 (46) C
10	F ₁	741	37,7 (0,96) A	71 (2,4) A	33,8 (0,5) B	1299 (42) A	9 (0,21) B	1222 (40) A	1443 (44) A
12	PCH	895	33,4 (0,94) B	77 (2,3) A	32,6 (0,5) B	1405 (41) A	9 (0,20) B	1132 (39) A	1173 (44) B
Bloques (B)			B3 A, B2 y B1 C	n.s. <i>p</i> > 0,05	n.s. <i>p</i> > 0,05	n.s. <i>p</i> > 0,05	B3 A, B1 y B2 B	n.s. <i>p</i> > 0,05	n.s. <i>p</i> > 0,05

Letras iguales no hay diferencias significativas al: *p* > 0,05

Dónde: error estándar E.E; **N**: número de árboles; **DAPq**: diámetro cuadrático promedio a 1,3 de altura del taxón; **G**: área basal por ha del taxón; **H**: altura promedio del taxón; **IDR**: Índice de Reineke del taxón; **FE**: factor de espaciamiento del taxón; **VOL SC**: volumen sin corteza ha del taxón; **VOL CC**: volumen con corteza ha del taxón;

Elementos de la copa y calidad de rollizos

En el presente ensayo las variables largo de copa verde (LCV) y su porcentaje (PLCV) exhibieron diferencias significativas entre los taxones ensayados (*p* < 0,05). En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en el test DGC, el cual permitió identificar conglomerados con diferencias significativas entre ellos. Al analizar la primera de ellas, las mayores LCV se registraron para F₁, F₁ × PCH, PEE × F₁, PCH, seguidas por F₂ y PT y por último PEE. Expresada esta en porcentajes a través de PLCV fue posible determinar con dicho test que F₁ × PCH supero a los otros taxones. En el segundo conglomerado y en el orden que se detalla, se ubicaron PEE × F₁, F₂, F₁ y PCH. En tercer y cuarto conglomerado se ubicaron PT y PEE, respectivamente.

Indicadores como el LCV y el PLCV son elementos simples que permiten caracterizar la estructura de copas y pueden contribuir a dar una explicación de la productividad de los taxones y las diferencias existentes entre ellos. Por ejemplo, para PT el valor máximo observado en la construcción de un modelo de incremento que la contenía como variable predictora, entre los 3 y 5 años, fue de 13 km.ha⁻¹, observándose una disminución del incremento corriente anual en G a partir de los 8 km.ha⁻¹ (Fassola *et al.*, 2008). Mientras que para *Pinus caribaea* var *caribaea*, a los 6 años de edad, se determinó una LCV de 10 km.ha⁻¹, manteniendo altas tasas de incremento en G, aun con elevadas LCV. En ambos casos la densidad máxima fue de 1700 pl.ha⁻¹ (Fassola, 1991). Para PEE, sólo se cuenta con antecedentes para la zona agroecológica de las arenas centrales de Corrientes, donde a los 5 años con 1111 pl.ha⁻¹, se registró una LCV de casi 6 km.ha⁻¹ (Fassola, 1992). Puede considerarse que tanto los taxones híbridos, como PCH y PT tienen un alto potencial para sostener biomasa fotosintética en su perfil, aun con altos niveles de competencia. Estas variables, aparte de la relevancia en el aspecto de los incrementos, tienen trascendencia también en la calidad de rollizos. Dependiendo del tamaño de ramas, los taxones con mayores porcentajes de copa viva ofrecen la posibilidad de obtener tablas con nudos firmes, característica que impacta en los grados de calidad, tanto para usos de apariencia como estructural.

Tabla 3. Variables de estado de la expresión de la biomasa foliar de los taxones de pinos en el perfil por unidad de superficie.

Trat #	Taxón	LCV km.ha ⁻¹	PLCV %
1	PT	10 (0,4) B	38 (0,46) C
6	PEE	8 (0,4) C	35 (0,46) D
7	F ₁ × PCH	12 (0,4) A	46 (0,41) A
8	PEE × F ₁	11 (0,4) A	41 (0,43) B
9	F ₂	10 (0,4) B	41 (0,43) B
10	F ₁	12 (0,4) A	40 (0,42) B
12	PCH	11 (0,4) A	39 (0,41) B
Bloques (B)		B1 A, B2 y B3 B	B1 A, B3 B y B2 C

Letras iguales no hay diferencias significativas al $p > 0,05$.

Dónde: error estándar (E.E); LCV: Longitud media de copa verde ha; PLCV: porcentaje medio de longitud de copa verde.

En relación a la cantidad de entrenudos con largos mayores a 0,60 m observados por hectárea (CIL, n.ha⁻¹), la sumatoria de sus largos (SIL, m.ha⁻¹), el índice de internudos por árbol (iinl, %.árbol⁻¹), la unidad de superficie (CARBINL, %.ha⁻¹), y el porcentaje de ejemplares de estos taxones con presencia de dichos internudos (IINL, %.taxón⁻¹) se determinó diferencias significativas entre los materiales ensayados ($p < 0,05$). En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos con el test DGC para cada variable mencionadas. PEE alcanzó el mayor valor CIL.ha⁻¹ con diferencias altamente significativas ($p < 0,05$) respecto de los demás taxones al igual que en el caso de árboles individuales (Tabla 1). Le siguieron PEE × F₁ y F₂ y luego, con menores valores de CIL.ha⁻¹, se encuentran los taxones PCH, F₁ × PCH y F₁. Por último, se ubicó PT. Puede afirmarse que la supervivencia (N) al momento de la evaluación, no afectó el hecho de que PEE mantenga los mejores valores en CIL.ha⁻¹ respecto a los otros materiales, ya que fue el taxón con más bajos valores de N, junto a PT, por lo que la presencia de esta característica es propia del taxón. Por otro lado, al considerar la sumatoria de los entrenudos con largos mayores a 0,60 m observados por hectárea (SIL.ha⁻¹), los taxones PT y F₁ presentaron los menores valores, en contraposición a su mayor productividad en volumen (Tabla 2). Siendo estos los materiales más implantados en la región Mesopotámica Argentina, puede considerarse que el procesamiento industrial de sus trozas basales exigirá un mayor proceso de saneo. Para esta característica se destacó en primer lugar PEE, seguido por el conglomerado constituido por F₂, PEE × F₁ y PCH, que no se diferenciaron entre sí estadísticamente (Tabla 4). Respecto de la relación entre la proporción de la longitud de los entrenudos largos con el largo del rollizo (índice de entrenudos, iinl), PEE integro el conglomerado junto a F₂ y PEE × F₁, que se diferenció estadísticamente de los demás taxones. Este indicador expresado a nivel de unidad de superficie, IINL, permitió identificar a PEE como el taxón más destacado respecto del resto. Aunque debe considerarse que, para obtener grados superiores de calidad de madera, el diámetro en punta fina del rollizo es un factor por igual de importante (Fernández *et al.*, 2017), aspecto en el cual PEE no se destacó. Por el contrario, tanto PT como F₁, presentaron los menores valores de este indicador. En cuanto a la cantidad relativa de árboles de cada taxón que presentó entrenudos largos (CARBINL), se destaca PEE × F₁ que presentó esta característica en todos los ejemplares, exhibiendo diferencias estadísticas ($p < 0,05$) respecto del conglomerado integrado por F₁, F₂, PEE y PT, que presentaron entre el 90 % y el 87 % de los ejemplares con este carácter. El taxón con menor presencia de árboles con entrenudos largos fue F₁ × PCH, con poco más del 70 % (Tabla 4).

Tabla 4. Cantidad, sumatoria, índices y porcentaje de ejemplares con presencia de entrenudos > de 0,60 m por debajo de los 6,20 m de altura en taxones de pinos

Trat #	Taxón	CIL n.ha ⁻¹	SIL m.ha ⁻¹	iinl %.árbol ⁻¹	IINL %.taxón ⁻¹	CARBINL %.ha ⁻¹
1	PT	798 (90) D	640 (92) D	15 (3,09) B	16 (1,25) D	88 (2,37) B
6	PEE	1781 (90) A	1475 (92) A	29 (3,1) A	33 (1,25) A	87 (2,37) B
7	F ₁ × PCH	1101 (80) C	925 (83) C	17 (2,77) B	25 (1,12) C	71 (22,13) D
8	PEE × F ₁	1461 (85) B	1186 (87) B	23 (2,92) A	23 (1,18) C	100 (2,24) A
9	F ₂	1436 (85) B	1305 (87) B	26 (2,92) A	28 (1,18) B	89 (2,24) B
10	F ₁	1023 (83) C	705 (85) D	14 (2,84) B	16 (1,15) D	90 (2,18) B
12	PCH	1161 (81) C	1138 (83) B	20 (2,86) B	23 (1,13) C	80 (2,13) C
Bloques (B)		B2 A; B3 y B1 B	B2 A; B3 y B1 B	B2 y B3 A; B1 B	B2 y B3 A; B1 B	B2 A, B1 y B3 B

Letras iguales no hay diferencias significativas al $p > 0,05$

Dónde: error estándar (E.E); **CIL**: cantidad de entrenudo ha⁻¹; **SIL**: Sumatoria de entrenudos largos ha⁻¹; **iinl**: índice de Entrenudos medio del árbol; **IINL**: Índice de entrenudos medio del taxón; **CARBINL**: cantidad relativa de árboles con entrenudos largos;

4. CONCLUSIONES

Los taxones evaluados en este ensayo mantienen un posicionamiento en producción similar al de la medición realizada a los 10 años de edad. La productividad de los mismos es muy elevada, pero la Hdom refleja que se trata de sitios de alto potencial productivo. El hecho que la Hdom determinada para PEE y PT se encuentren en el límite superior o superen el mismo en las funciones de sitio existentes, pone en evidencia y obliga, a que en el futuro cercano dichas funciones regionales sean revisadas. La incorporación de nuevos materiales genéticos de estas especies, para calidades de sitio similares a la analizada, como de F₁, F₂ y los posibles desarrollos de las retrocruzas PEE × F₁ y F₁ × PCH, que han expresado a través de las sucesivas evaluaciones su elevada potencialidad, exige mantener actualizados una serie de modelos relativos al manejo de los mismas. Estos conceptos son extensivos a indicadores de competencia como el Índice de Reineke (IDR) y el Factor de Espaciamiento, aunque se consideren independientes del sitio.

Se identificaron diferencias entre ideotipos de copa de los taxones. La longitud del entrenudo es uno de los factores más importantes para mejorar las posibilidades de industrializar la madera o clasificar visualmente la calidad de madera aserrada para usos de apariencia, estructural o para su uso en productos de la ingeniería de la madera. Los entrenudos más largos permiten producir madera libre de nudos de manera más eficiente, mejorando la competitividad nacional e internacional del sector en maderas de coníferas. Es deseable introducir en el fenotipado esta característica en los ensayos genéticos donde se evalúan materiales parentales de PT, de PEE y PCH a los fines de determinar variación genética. En el caso de PEE, que presentó las mejores características en cuanto a cantidad de entrenudos largos y también un elevado porcentaje de ejemplares con presencia de dicha característica, sería interesante evaluar su variabilidad genética de manera de incorporar los mejores ejemplares PEE como madres de los híbridos F₁. Dicha evaluación sería conveniente realizarla a edades o alturas menores, posiblemente antes de los 15 metros de altura y recurrir al uso de tecnología LIDAR, terrestre o aéreo, a los fines de relevar rápidamente la estructura y arquitectura de copa.

Las evaluaciones de la estructura y arquitectura de copa deberían también incluir otros caracteres como tamaño copa, diámetros y largo de ramas. Debe atenderse a la identificación de ideotipos con alta productividad y con copas estrechas que generen menor competencia con sus vecinos por los recursos disponibles. La incorporación de estas características de copa a las nuevas generaciones de materiales genéticos debiera ir acompañada con el desarrollo de una silvicultura clonal costo efectiva. Estos estudios son también relevantes para su incorporación a sistemas de tipificación de calidad de rollizos.

Los resultados observados con la retrocruza de PEE $\times$ F₁, dadas las características de su copa y un rendimiento muy superior al de PEE, permitirían la ampliación de la superficie de plantación de coníferas en otras regiones del país con temperaturas menores a las de Misiones. La mayor capacidad de producción de madera de apariencia y productos de la industria de la remanufactura y eventualmente de resina, facilitaría la inserción en mercados extra regionales o globales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assmann, E. 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Oxford, UK, Pergamon Press. 506 pp. 24-26.
- Balzarini, M. G.; L. Gonzalez; M. Tablada; F. Casanoves; J. A. Di Rienzo; C. W. Robledo 2008. InfoStat Versión 2011. *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Balzarini, M.; J. Di Rienzo; M. Tablada; L. Gonzalez; C. Bruno; M. Córdoba; W. Robledo; F. Casanoves. 2012. *Estadística y Biometría. Ilustraciones del Uso de InfoStat en Problemas de Agronomía*. Editorial Brujas. Córdoba-Argentina. pp 382.
- Bravo, F.; G. Montero y M. Del Rio. 1997. Índices de densidad de las masas forestales. *Ecología* 11: 177-187.
- Cappa, E. P.; M. Marco; D. Garth Nikles; I. S. Last. 2013. Performance of *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, their F₁, F₂ and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia Region, Argentina. *New Forests* 44: 197-218. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9311-2>.
- Carbaugh, E. D. 2015. *A comparison of crown attributes for six genotypes of Pinus taeda as affected by site and management intensity*. Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Fecha de consulta: 18/7/2021. pp.100. Disponible en: https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/56963/Carbaugh_ED_T_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Carson, M. J. 1988. *Long-internode or multinodal radiata pine - A financial analysis*. FRI Bulletin No. 115. Ministry of Forestry, Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
- Carson, M. J. & C. S Inglis. 1988. Genotype and location effect on internode length on radiata pine in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 18: 267-279.
- Crechi, E.; H. Fassola; A. Keller; S. Barth. 2006. *Modelos de estimación del volumen individual de árboles con y sin corteza de Pinus taeda L. para la zona norte de Misiones, Argentina*. Disponible en: CD Actas XII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales - FCF, UNaM - EEA Montecarlo INTA. Eldorado, Misiones. Argentina.
- Crechi, E.; A. Keller; H. Fassola; J. Fahler; R. Maletti. 2014. *Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo en Pinus taeda L. sobre la producción de madera en el noroeste de Misiones, Argentina*. Disponible en CD Actas XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales - FCF, UNaM - EEA Montecarlo INTA. Eldorado. Misiones. pp 9.
- Day, R. J.; H. E. Gonda. 1987. *Un método de planificación para el manejo de Pino elliottii en Misiones tendiente a mejorar la producción* (traducción del original por los autores). Disponible en Actas Simposio Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. CIEF. IV: pp. 116-133. Bs. As. Buenos Aires.
- Dieters, M. J.; D. Nikles and M. G. Keys. 2013. Achievements in forest tree improvement in Australia and New Zealand 6: Genetic improvement and conservation of *Araucaria cunninghamii* in Queensland. *Australian Forestry* 70 (2): 75-85. <https://doi.org/10.1080/00049158.2007.10675006>.
- Di Rienzo, J. A.; A. W. Guzmán y F. Casanoves. 2002. Un método de comparaciones múltiples basado en la distribución de la distancia del nodo raíz de un árbol binario. *J Agric Biol Environ Stat* 7: 129-142. <https://doi.org/10.1198/10857110260141193>.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada; C. W. Robledo. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Escobar, P. 2021. Claudio Anselmo, ministro de Producción de Corrientes: “Las exportaciones forestales alcanzaron los 50 millones de dólares en el primer semestre de 2021, superó lo exportado en 2020”. Argentina Forestal. Fecha de consulta 20 de octubre 2021. Artículo periodístico disponible en: <https://www.argentinaforestal.com/2021/10/05/claudio-anselmo-ministro-de-produccion-de-corrientes-las-exportaciones-forestales-alcanzaron-los-50-millones-de-dolares-en-el-primer-semestre-de-2021-supero-lo-exportado-en-2020/>.
- Fassola, H. 1991. *Respuesta del Pinus caribaea var. caribaea a regímenes silvícolas directos. (inf. Avance 2).* 1991. Disponible en: Actas Jornadas Sobre *Pinus Caribaea*. CIEF. Eldorado. Mnes. pp 151-163.
- Fassola, H. 1992. Regímenes silvícolas con producción de madera libre de nudos en *P. elliottii*, en la zona central de Corrientes. 1^{er}. Inf. de avance: el control del diámetro sobre muñones en 15 cm. *Revista Iyrraretá* N° 3. Fac. Cs. Ftale. UNAM. Eldorado.
- Fassola, H.; E. Wabo. 1993. Funciones de Índice de Sitio para *Pinus elliottii* Engelm. en Misiones (Arg.). *Revista Iyrraretá*. N.º 4. Fc. Cs. Ftale. U.Na.M. Eldorado.
- Fassola, H. E.; P. Ferrere; M. Gelid de Ruibal. 2008. Crecimiento en área basal de *Pinus taeda* L. con relación a la longitud de copa verde. *Revista Iyrraretá* 15: 6-13. Fac. Cs. Ftale. UNAM. Eldorado.
- Fassola, H.; E. Crechi; S. Barth; A. Keller; M. Pinazo; R. Martiarena; A. Von Wallis]; Figueredo. 2009. Relación entre la biomasa aérea y la sección transversal en la base de copa viva de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. *Revista Iyrraretá* 16: 7-11. Fac. Cs. Ftale. UNAM. Eldorado.
- Fernández, M. P.; J. Basauri; C. Madariaga; M. Menéndez-Miguélez; A. Zubizarreta-Gerendiain. 2017. Efectos del aclareo y la poda sobre las características del tallo y la copa del pino radiata (*Pinus radiata* D. Don). *Forest - Biogeosciences and Forestry* 10 (2): 383-390. <https://doi.org/10.3832/for2037-009>.
- Ferrere, P.; H. Fassola; H. Fahler, E. Crechi. 2001. Estudio del crecimiento y modelos de producción para *Pinus caribaea* var. *caribaea* en un sitio de Puerto Esperanza, Misiones. Informe Técnico N° 26. EEA INTA Montecarlo. Pp 33.
- Gauchat, M. E.; E. Belaber; G. H. Rodriguez. 2012. *Avances en los programas de INTA de Pinos en Región Mesopotámica*. Ed.: Lopez J. A., Harrand L., Salto C., Marcó M., Surencisky M. R. Resúmenes de trabajos técnicos Jornadas de Mejoramiento Genético de Pinos y Eucalyptus Subtropicales. Concordia. Pp. 64.
- IPEC, 2020. *La situación del sector foresto industrial. Diagnóstico y perspectivas*. Misiones. Pp 22.
- Jayawickrama, K. J. S.; C. J. A. Shelbourne and M. J. Carson. 1997. New Zealand's Long internode breed of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 27(2): 126-141.
- Keller, A.; H. E. Fassola; E. Crechi; S. Barth. 2006. *Funciones de volumen individual con y sin corteza para Pinus elliottii Engelm. implantado en las zonas alta y norte de la provincia de Misiones, Argentina*. 12 Disponible en CD Actas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo INTA. Eldorado, Misiones. Argentina.
- Keller, A.; E. Crechi. 2015. *Ecuaciones de volumen y forma para Pinus elliottii var. elliottii x P.caribaea var. hondurensis cultivado en la zona noroeste de Misiones, Argentina*. Disponible en CD Actas XXIX Jornadas Forestales De Entre Ríos, Concordia.
- Keller, A. E; E. H. Crechi; H. E. Fassola; L. Colcombet; S. R. Barth; R. A. Winck; J. Di Rienzo. 2017. *PlaForNEA, Plataforma de Gestión Forestal*. INTA EEA Montecarlo. <http://www.plafornea.com.ar>
- Keller, A.; E. Crechi. 2020. *Efectos del raleo sobre el crecimiento y la producción de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis hasta los 23 años en el noroeste de Misiones, Argentina*. Disponible en Actas XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Pp. 76.80.
- Kumar, S.; C. B. Low and R. D. Burdon. 2009. Across-Sites Genetic Parameters of Internode-Length Variables in *Pinus radiata* assessed by Laser Measurements. *New Zealand Journal of Forestry Science* 39: 99-111. Fecha de consulta 15/11/2021. <https://www.scionresearch.com/services/science-publications/new-zealand-journal-of-forestry-science/nzjfs-volume-39>.

- Pahr, N. P; M. E. Gauchat; F. Sorge. 2002. *Ensayo comparativo de pinos mejorados. No de Misiones, Argentina*. Informe Técnico N° 42. INTA EEA Montecarlo. Publicado en: Novenas Jornadas Técnicas Forestales Eldorado - Misiones.
- Pezzutti, R. 2011. *Efeitos biológicos e econômicos de tratamentos silviculturais em plantios de Pinus taeda L. no nordeste Argentino*. Tesis de Doctorado. UFSM. Brasil. pp. 179.
- Sañudo, G.; P. Yapura; A. E. Keller; E. H. Crechi; H. E. Fassola; R. A. Winck; S. R. Barth; H. Caraballo. 2021. *Simulador de estructura de ramas. Versión 1.0 (Pinus taeda - Misiones)*. EEA INTA Montecarlo. pp. 10. Fecha de consulta 22/11/2021. Disponible en: <http://www.plafornea.com.ar/download/SIMULADOR%20DE%20ESTRUCTURA%20DE%20RAMAS%20web.pdf>.
- Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento. 1999. *Pinus taeda. VERSIÓN 2.0* EEA Montecarlo. Pp.19. INTA EEA Montecarlo.
- Vilches Zurita, P. I. 2005. *Evaluación de defectos y determinación del aprovechamiento a nivel de remanufactura en Pinus radiata D. Don*. Tesis de Grado. UACH. Facultad de Cs. Forestales. Valdivia. Chile. pp. 65.

