



Creer... Crear... Crecer...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”

**Funciones de crecimiento para álamos regados con aguas
residuales en Adelia María, Córdoba, Argentina**

Hernán Gustavo Carpi

DNI: 26.964.063

Director: Ms. Sc. José Omar Plevich

Río Cuarto – Córdoba

Marzo 2012

|

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
Introducción.....	1
Objetivo General.....	2
Objetivo Especifico.....	2
Materiales y métodos.....	3
El sitio bajo estudio.....	3
Método del muestreo.....	5
Determinación del volumen real.....	6
Parametrización de las funciones de crecimiento.....	8
Determinación del valor máximo técnico.....	9
Resultados.....	10
Método del muestreo.....	10
Determinación de número de individuos para la evaluación del fustal.....	13
Determinación del volumen real.....	14
Parametrización de las funciones de crecimiento.....	24
Determinación del valor máximo técnico.....	27
Conclusión.....	32
Nuevas líneas de investigación.....	33
Bibliografía.....	34
Anexos.....	38

ÍNDICE DE CUADROS

N°		Página
1	Número de lotes y especies plantadas en el predio destinado como filtro verde, en la localidad de Adelia María, Córdoba, Argentina.....	4
2	Funciones de crecimiento utilizadas en el campo forestal.....	8
3	Análisis estadístico de los tres bloques de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	13
4	Tamaño de muestra para el estudio, en <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	14
5	Identificación de los árboles a apear en el lote de muestreo.....	15
6	Mediciones diamétricas del árbol de la clase grande (gg) de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	18
7	Mediciones diamétricas del árbol de la clase media (me), de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	18
8	Mediciones diamétricas del árbol de la clase chica (cc) de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	19
9	Volumen acumulado (m ³) del árbol gg.....	21
10	Volumen acumulado (m ³) del árbol me.....	21
11	Volumen acumulado (m ³) del árbol cc.....	21
12	Comparación del CV de las proporcionalidades de los tres individuos de estudio.....	22
13	Nivel de significación estadística en la determinación de los parámetros.....	25
14	Resultados del análisis de regresión no lineal del programa estadístico INFOSTAT (2011): FUNCIÓN HOSSFELD I, para <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	26
15	Comparación de la producción para la misma especie en dos sitios distintos.....	31

ÍNDICE DE GRÁFICOS

N°		Página
1	Distribución de diámetros en Álamos.....	10
2	DAP promedio para las distintas clases diamétricas en los distintos bloques.....	11
	Distribución de los árboles expresado en porcentajes con respecto a la clasificación de sus diámetros en cada bloque.....	12
4	Reconstrucción de los fustes de los árboles cc, me y gg, con los anillos de crecimiento medidos en laboratorio, para <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	20
5	Proporcionalidades de los volúmenes para los tres árboles (gg, me, cc), de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	23
6	Volumen real acumulado para los 142 árboles muestreados, de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	24
7	Curva de ajuste realizada para la determinación del volumen acumulado en <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	27
8	Proyección del volumen acumulado mediante la fórmula Hossfeld I para el crecimiento en volumen acumulado en álamos	28
9	Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) para <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214.....	29
10	Proyección de las curvas para ICA (- . -) e IMA (- - -).....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

N°		Página
1	Predio de tratamientos de agua cloacales, en la localidad de Adelia María, Córdoba, Argentina.....	3
2	Lote 1 (L1), parcela de estudio <i>Populus x euroamericana cv.</i> I-214.....	5
3	<i>Populus x euroamericana cv.</i> I-214 donde se puede observar el marco de plantación y los surcos de Riego.....	5
4	Distribución de los bloques y parcelas en el lote de estudio (L1).....	6
5	Determinación del volumen de los rollizos utilizando la cuación de Newton.....	7
6	Determinación del volumen del último rollizo por medio de la forma de cono.....	8
7	Apeo del árbol mediano (me), en el bloque 3, de la parcela 1.....	15
8	Corte de troza del árbol chico (cc), en el bloque 1, de la parcela 2.....	15
9	Muestras de rodela de los árboles grande (gg), mediano (me) y chico (cc).....	16
10	Rodelas correspondientes al árbol grande (gg) del bloque 3, parcela 3.....	16
11	Rodelas correspondientes al árbol medio (me) del bloque 3, parcela 1.....	16
12	Rodelas correspondientes al árbol chico (cc) del bloque 1, parcela 2.....	16
13	Rodela N°4 del árbol grande (gg).....	17
14	Rodela N° 6 del árbol chico (cc).....	17
15	Rodela N° 10, del árbol grande (gg).....	17
16	Rodela N° 7 y N° 2, del árbol mediano (me).....	17

ÍNDICE DE ANEXO

N°		Página
1	Planillas de distribución de parcelas y medición del DAP.....	38
2	Relevamiento de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214, zona pie del surco.....	40
	Relevamiento de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214, zona media del surco.....	41
	Relevamiento de <i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214, zona cabeza del surco.....	42
3	Clasificación de los Álamos por sus clases diamétricas.....	43
4	Proporcionalidades Árboles gg, me, cc.....	44
5	Estimación del volumen del total de árboles muestreados.....	45
6	Lluvias acumuladas 1950-2009, INTA de Adelia María, Córdoba, Argentina.....	48
7	Estimación del DAT.....	48
8	Altura promedio.....	49
9	Valores de ICA e IMA para los 9 años de edad, corresponden al Gráfico N° 9.....	49

RESUMEN

En la localidad de Adelia María existe una planta depuradora de agua residual que está a cargo y dirigida por la Cooperativa de teléfono de dicha localidad. El agua depurada es distribuida por surco a una forestación de distintas especies entre ellas el álamo, *Populus x euroamericana* cv I - 214, la cual fue elegida para interpretar el crecimiento desde el año 2001 hasta el año 2010, realizando una curva de crecimiento mediante la modelación matemática que constituye una herramienta útil para la planificación y gestión de los ecosistemas forestales. Esto se efectuó a partir del conteo y medición de los anillos de crecimiento que permitió obtener el volumen acumulado año por año. La curva de crecimiento se obtuvo de la parametrización de 12 modelos matemáticos de regresión no lineal donde el modelo Hossfeld I, obtuvo la mejor bondad de ajuste, ($p > 0.0001$) y con un EMC de 0.0009.

Palabras claves: Álamo *Populus x euroamericana* cv I - 214, anillos de crecimiento, proporcionalidad, crecimiento, modelos matemáticos.

ABSTRACT

In Adelia María (Córdoba), there is a cleaning plant of residual water which is in charge and is managed by the Telephone Cooperative of the city previously mentioned. The water is distributed by furrow to a forestation of different species among them, the poplar *Populus x euroamericana* cv I-214, which was chosen to interpret the growth since the year 2001 to 2010; carrying out a growth curve through the mathematical moderation that constitutes an useful tool for the planning and management of the forested ecosystems. This was done from the counting and measurement of the growing rings which let to obtain the volume accumulated each year. The growing curve was obtained from the parametrization of 12 non-linear regression mathematical models, where the model Hossfeld I, obtained the best suitable goodness, ($p > 0.0001$) and with an EMC of 0.0009.

Key words: Poplar *Populus x euroamericana* cv I - 214, growing rings, proportionality, growth, mathematical models.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del recurso agua, es uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial (Ongley, 1996). A menudo, las aguas freáticas son la única fuente disponible de agua en las zonas áridas y semiáridas siendo un elemento fundamental la conservación de este recurso (FAO, 1996). La expansión urbana, ha provocado un crecimiento proporcional de las aguas residuales generadas, las que son vertidas en drenaje de diversos tipos para terminar engrosando los cuerpos de agua naturales (Delgado y Anton, 2004).

El grupo de investigación de la Universidad de Alcalá de Henares (España) describe a los filtros verdes como una de las técnicas no convencionales de depuración y reutilización de aguas residuales (Corvea, *et al.*, 2002). Entre las especies vegetales que pueden establecerse en un filtro verde están los cultivos agrícolas, forrajeros y forestales, siendo estos últimos los que presentan las mayores ventajas en relación a otros cultivos (Álvarez Vega, 2002).

A nivel mundial hay grandes proyectos que demuestran el beneficio del agua residual utilizada para riego, (León *et al.*, 1996; FAO, 1996; Peasey *et al.*, 2000; Texoco Gobierno, 2001). A nivel nacional se puede mencionar algunas ciudades en donde el agua residual es usada para riego en especies vegetales como podemos citar a: Trelew, (INTA Chubut, 2001), Esquel (Cooperativa de P. de S. P. V. Ltda., 2001), Santa Cruz (Castro Dassen, *et al.*, 2003), La Pampa (La Pampa Gobierno, 2003) y Mendoza (INTA informa, 2000); de igual manera en el sur de Córdoba, Gral.Deheza, Adelia María, San Basilio, Serrano y Montes de los Gauchos (Informe Cooperativa Telefónica de Adelia María, 2007).

El uso del agua residual mediante el servicio de purificación en un ecosistema forestal puede contribuir a mitigar la contaminación localizada y es una excelente alternativa económica cuando en su diseño se consideran al menos un servicio ambiental y alguno comercial. Los gestores de los sistemas forestales y los tomadores de decisiones políticas vinculadas directa o indirectamente con el manejo del recurso forestal deben considerar la dimensión económica y además otras como la social, ambiental y política (De Prada, 2007).

En relación a la dimensión económica, cuando se plantea la obtención de madera de bosques o plantaciones usualmente son manejados para obtener un rendimiento sostenido de productos, lo que requiere un nivel de producción constante para una intensidad de manejo particular, esto implica que el crecimiento del bosque o plantación debe ser estimado y balanceado con la cosecha (Ramírez y Zepeda, 1994). Cualquier planificación de la producción

forestal debe involucrar la predicción del rendimiento futuro. Por ello las empresas forestales podrían hacer uso de los datos de crecimiento y desarrollo de los árboles de áreas forestales determinadas, de manera que éstos le pudieran permitir planear la producción de la planta y examinar las posibilidades de expansión (Meyer *et al.*, 1961).

Para determinar el crecimiento y el desarrollo del individuo observado en los diferentes períodos de vida se considera el análisis del tronco o fuste, que consiste en la medición de cierto número de secciones transversales del mismo (Imaña y Encinas, 2008).

La información de stock de madera está ausente en las plantaciones que se encuentran desarrollando en la región, por eso el propósito de este trabajo final fue parametrizar funciones de crecimiento conocidos en el ámbito forestal y analizar el nivel de ajuste al crecimiento observado en una forestación de álamos, utilizada como filtro verde en la localidad de Adelia María, provincia de Córdoba.

OBJETIVO GENERAL

Ajustar una función de crecimiento para álamos (*Populus x euroamericana* cv. I-214) creciendo en un filtro verde en la localidad de Adelia María, Córdoba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Desarrollar un método de muestreo que permita establecer el tamaño y el número de parcelas adecuados para determinar el DAP (diámetro altura de pecho) y H (altura) de la población de árboles de las especies bajo estudio.
- ❖ Determinar el volumen real de las poblaciones de árboles de la especie bajo estudio.
- ❖ Parametrizar funciones de crecimiento del fuste de la especie bajo estudio.
- ❖ Determinar el valor máximo técnico de la especie bajo estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

EL SITIO BAJO ESTUDIO.

El trabajo se realizó en la localidad de Adelia María, al sur de la provincia de Córdoba y al sureste del departamento Río Cuarto. Sus coordenadas geográficas son: 33° 38' 18" de latitud sur y 63° 59' 10" de longitud oeste. Esta localidad cuenta con una población de 6.379 habitantes, según el Censo Nacional de 2001, aunque se estima que el total de la población actual es de 7.256 habitantes (6341 en la zona urbana y 1015 en zona rural). Está inmersa en plena llanura, la cual presenta en esta zona una planicie de relieve normal y suavemente ondulada con una altura sobre el nivel del mar de 264 m (Alvarado *et al.*, 2006).

Adelia María, se encuentra alejado de conductos pluviales naturales, usando como depósito para las aguas servidas de pozos absorbentes (pozos negros), los que contaminan las napas freáticas. Debido a esta problemática, surge la realización de un proyecto denominado "Depuración de aguas servidas" (Fig. 1), el cual se presentó para su aprobación en el año 1999 y su realización comenzó en el 2000.



Fig. 1 - Predio de tratamientos de agua cloacales, en la localidad de Adelia María, Córdoba, Argentina.

La ejecución y manejo del proyecto fue otorgado a la Cooperativa de teléfono de la mencionada localidad, por un lapso de 15 años. El predio cuenta con 36 ha., donde las plantaciones y cortinas forestales ocupan una superficie de 22,20 ha (Cuadro I y Fig. 2). Las lagunas, el decantador, el galpón y las oficinas ocupan 10,30 ha; y las 3,5 ha restantes han sido conservadas para proyectos futuros.

Cuadro 1 - Número de lotes y especies plantadas en el predio destinado como filtro verde, en la localidad de Adelia María, Córdoba, Argentina.

Lote N° (L)	Especies	Superficie.ha ⁻¹	Marco de plantación	Plantas.ha ⁻¹
1	<i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214	5,0	4 x 4	625
2	<i>Eucalyptus viminalis</i> Labill.	2,5	3 x 3	1111
3 ^a	<i>Salix babylonica</i> x <i>Salix alba</i> cv. "A131-25".	1,0	2,5 x 3	1333
3 ^b	<i>Salix babylonica</i> x <i>Salix alba</i> cv. "A 131-27"	1,0	2,5 x 3	1333
4 y 5	Cortinas: <i>Ciprés lambertiana</i> (<i>Cupressus macrocarpa</i>) (Acacia/Fresnos/Nogales) Álamo criollo (<i>Populus nigra</i>)	9,7		
6	<i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214	3,0	4 x 4	625
7	Proyectos futuros.	3,5	----	----

Por su ubicación geográfica, Adelia María tiene un clima templado húmedo con estación seca, presenta temperaturas medias que oscilan entre los 7° C y los 10° C en el mes de julio, siendo éste el más frío, y entre 22° - 25° C en enero, es decir el mes más caluroso, con precipitaciones medias anuales de 839 mm (Anexo VI), siendo la temporada primavera-verano la más lluviosa (Alvarado *et al.*, 2006). Además de las precipitaciones, las especies forestales hacen uso de aguas residuales depuradas en un sistema de lagunas mediante el riego por surco.

El ensayo se realizó en el lote 1 (L 1) (Fig. 2 y 3) ocupado por álamos con un marco de plantación de 4 x 4 m.



Fig. 2 – Lote 1 (L1), parcela de estudio *Populus x euroamericana* cv. I-214.



Fig. 3 - *Populus x euroamericana* cv. I-214 donde se puede observar el marco de plantación y los surcos de Riego.

METODO DE MUESTREO.

Según Cipollatti (1978), para el muestreo de una plantación homogénea entre un 2-5 % de la superficie es suficiente para probar la variabilidad de los datos y determinar el número de parcelas definitivas. En este trabajo final fue muestreada un 4.6 % de la superficie total de la plantación de álamos. Esta superficie en un primer momento se dividió en tres bloques sobre el

surco de riego en dirección O-E (Fig. 4): Bloque 1 (pie del surco), Bloque 2 (intermedio del surco) y Bloque 3 (cabecera de surco). Cada uno de esos bloques fue dividido en 3 parcelas. En cada parcela se midieron 16 árboles con un total de 48 árboles muestreados por bloque, obteniéndose un total 144 árboles en la plantación de 5 ha.

La ubicación de las parcelas en cada bloque se realizó al azar partiendo de ejes de coordenadas con letras y números (Anexo I). En estas parcelas se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP) de todos los árboles con cinta dendrométrica; con esta información dentro de cada estrato se clasificaron los árboles en 4 clases diamétricas: suprimidos, intermedios, codominantes y dominantes. Los árboles suprimidos, por no responder a los tratamientos silvícolas, no fueron considerados en el análisis. Los diámetros de los árboles intermedios, codominantes y dominantes fueron utilizados mediante el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011) para determinar la cantidad de muestras mínimas que representan a la población.

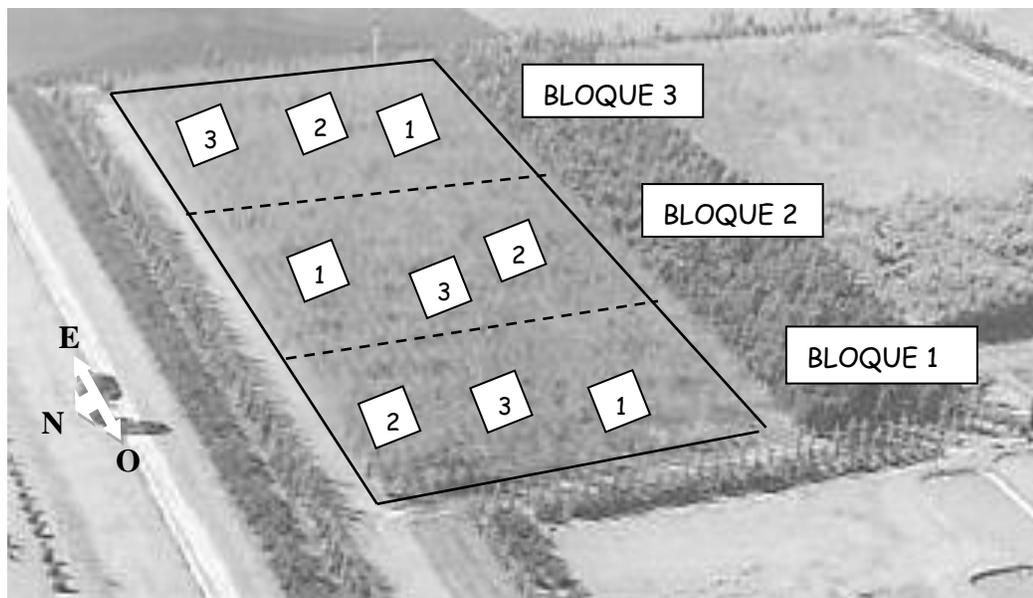


Fig. 4 – Distribución de los bloques y parcelas en el lote de estudio (L1).

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN REAL.

Determinado el número de árboles mínimos requeridos para representar a la población (plantación) los mismos se apearon para efectuar un análisis fustal. Los árboles seleccionados luego de apeados, fueron seccionado en rollizos de 1 m excepto el último de estos, que alcanzó una longitud variable según el diámetro mínimo establecido (10 cm). De cada extremo de los rollizos se obtuvo una rodela (secciones transversales) de 5 a 10 cm de espesor. Las mismas

fueron identificadas correlativamente por medio de una numeración que indicó la parcela, el orden dentro del árbol y la orientación N-S en el árbol en pie (Prodan *et al.*, 1997).

Para poder observar y medir los anillos sobre las rodelas se efectuó el siguiente procedimiento:

- 1) Se lijo varias veces utilizando diferentes tipos de lijas, desde aquellas de grano grueso al principio hasta culminar con lijas de grano fino.
- 2) luego se humedecieron las rodelas con agua y floroglucinol + HCL 25% para mejorar la identificación de los anillos (Gamundi, 2002).
- 3) Finalmente se realizó la medición de los anillos con una cinta métrica en dirección N-S y E-O sobre las rodelas para obtener un valor promedio entre ambas orientaciones.

A partir de los valores de los diámetros de los anillos para cada año de vida de los árboles estudiados, se obtuvo el volumen real acumulado en m^3 mediante la ecuación de cubicación de Newton (Fig. 5). Esta ecuación es reconocida como la de mayor precisión en el campo forestal y se la comparó con la ecuación del cono (Fig. 6), para poder determinar si esta última podría ser apropiada para estimar el volumen real acumulado en m^3 de los individuos seleccionados.

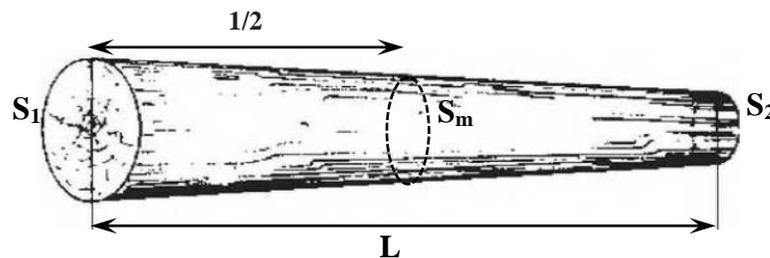


Fig. 5 - Determinación del volumen de los rollizos utilizando la ecuación de Newton.

$$V = \frac{(S_1 + 4 \times S_m + S_2) \times L}{6}$$

donde:

V = Volumen de la troza (m^3).

S₁, S₂, y S_m = Áreas al inicio, final y medio de la troza respectivamente (m^2).

L = Longitud de la troza (m).

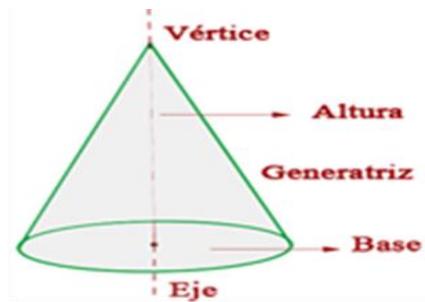


Fig. 6 – Determinación del volumen del último rollizo por medio de la forma de cono.

$$V = \frac{\pi \times r^2 \times h}{3}$$

donde:

V = Volumen del último rollizo (m^3).

H = Altura de la troza.

R = Radio de la base de la troza.

PARAMETRIZACIÓN DE FUNCIONES DE CRECIMIENTO.

Las funciones conocidas en el campo forestal que fueron parametrizadas en las cuales se obtuvo el nivel de ajuste de los valores reales de volumen, se encuentra en la Cuadro 2.

Cuadro 2 - Funciones de crecimiento utilizadas en el campo forestal (Kiviste *et al.*, 2002).

FUNCION	EXPRESION
Logística	$\text{Vol.ha}^{-1} = a/(1+b*\exp(-g*\text{año}))$
Logística con corrimiento	$\text{Vol.ha}^{-1} = a/(1+b*\exp(-g*\text{año}))+d$
Logística derivada	$\text{Vol.ha}^{-1} = a*b*g*\exp(-g*\text{año})/\text{sqr}(1+b*\exp(-g*\text{año}))$
Gompertz	$\text{Vol.ha}^{-1} = a*\exp(-b*\exp(-g*\text{año}))$
Gompertz con corrimiento	$\text{Vol.ha}^{-1} = a*\exp(-b*\exp(-g*\text{año})) + d$
Verhulst– Logística	$\text{Vol.ha}^{-1} = a/1+\exp(b-c*\text{año})$
Moiseev III	$\text{Vol.ha}^{-1} = \exp(a+b*\text{año}+c*\text{año}^2+d*\text{año}^3)$
Hossfeld I	$\text{Vol.ha}^{-1} = \text{año}^2/(a+b*\text{año}+c*\text{año}^2)$
Smalian	$\text{Vol.ha}^{-1} = \text{año}/(a+b*\text{año}+c*\text{año}^2)$
Strand	$\text{Vol.ha}^{-1} = (\text{año}/a+b*\text{año})^3$
Terazaki	$\text{Vol.ha}^{-1} = \text{año}/(a+b*\text{año}+c*\text{año}^2)$
Gemesi	$\text{Vol.ha}^{-1} = \exp(\text{año}/(a+b*\text{año}))-1$

Las estimaciones de los parámetros del modelo de volumen forestal se realizaron por mínimos cuadrados ordinarios, empleando el procedimiento iterativo de Gauss–Newton. La comparación de las estimaciones de los modelos se basó en el estudio de dos estadísticos: el error medio cuadrático (*EMC*), que analiza la precisión de las estimaciones y el coeficiente de determinación (R^2) (Kiviste *et al.*, 2002).

DETERMINACIÓN DEL VALOR MÁXIMO TÉCNICO.

Al determinar la función que se ajustó más al crecimiento biológico de la especie se procedió a obtener el incremento corriente anual (*ICA*) y el incremento medio anual (*IMA*) para poder establecer el valor máximo técnico que representa un óptimo biológico de la especie en estudio y sentar las bases para la oportunidad de establecer tratamientos silvícolas (cortas intermedias o cosecha final).

El *ICA* está representado por el crecimiento ocurrido entre el inicio y el final de la estación de crecimiento, en un periodo de 12 meses, o entre dos años consecutivos. La fórmula es la siguiente (Imaña y Encinas, 2008; Amo y Nieto, 1983):

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

donde:

ICA = incremento corriente anual.

Y = dimensión de la variable considerada.

t = edad.

El *IMA* expresa el crecimiento anual, que resulta del cociente entre el valor total acumulado de la variable considerada, en un determinado tiempo de su evolución desde su origen, y su edad en dicho momento (Imaña y Encina, 2008; Amo y Nieto, 1983). La fórmula es la siguiente:

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

donde: **IMA** = incremento medio anual.

t₀ = edad a partir del tiempo cero.

Y = dimensión de la variable considerada.

RESULTADOS

De acuerdo a la propuesta expresada en el capítulo materiales y métodos, un conjunto de resultados se encontraron en el desarrollo del método de muestreo, la determinación de volumen real, la parametrización de las funciones de crecimiento y la determinación del valor máximo técnico que representa un óptimo biológico de la especie en estudio.

METODO DE MUESTREO.

El muestreo se realizó obteniendo los datos del diámetro a la altura del pecho (DAP), del 4,6 % de la superficie de la plantación, valor propuesto por Cipollati (1978) para bajar los niveles de variabilidad de los datos a valores aceptables en la evaluación de la producción forestal; en total se censaron 144 árboles de los cuales 2 estaban muertos (Gráfico 1), (Anexo II, Cuadro 1, 2 y 3).

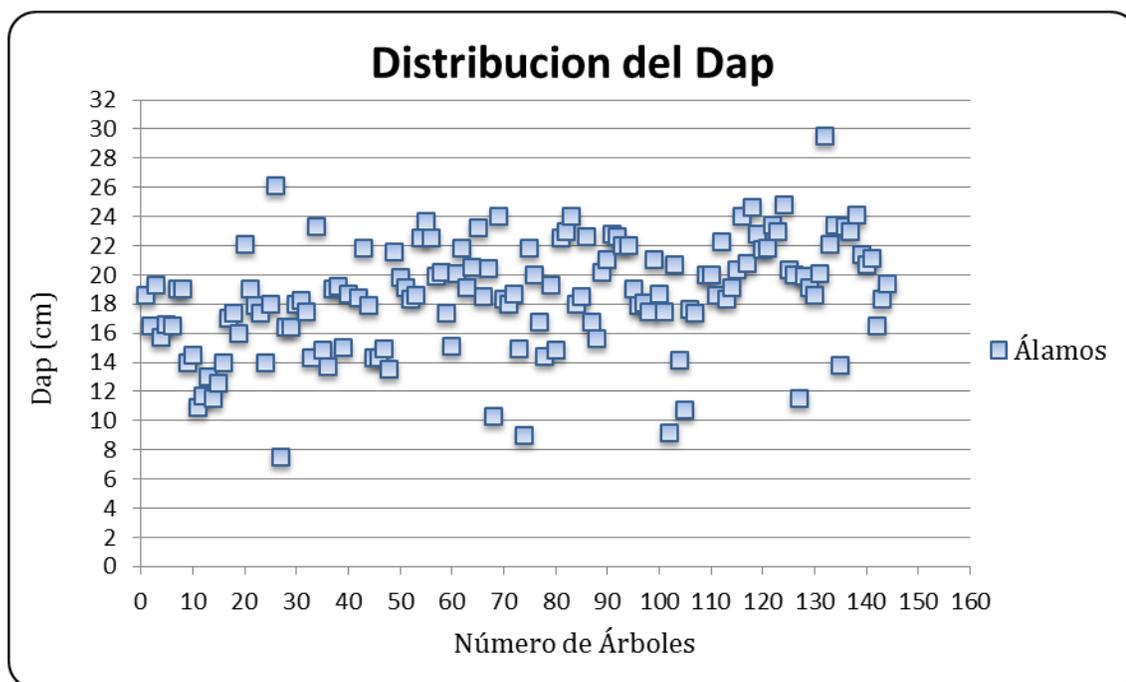


Gráfico 1 - Distribución de diámetros en Álamos.

Los datos obtenidos a partir de la distribución del DAP en el gráfico nos permite observar que el rango de variabilidad está determinado por: el valor mínimo de (7,5 cm), el valor

máximo de (29,50 cm), expresado por un coeficiente de variación de 0.19. Se puede deducir que el número de datos muestreados es suficiente, ya que no hay una tendencia a la distribución de los DAP según se incrementa el número de árboles medidos. Para clasificar los árboles, mediante los valores de DAP se obtuvo 4 clases diamétricas: Suprimidos (S), Intermedios (I), Codominantes (C) y Dominantes (D) como podemos observar en el Gráfico 2 (ver Anexo III).

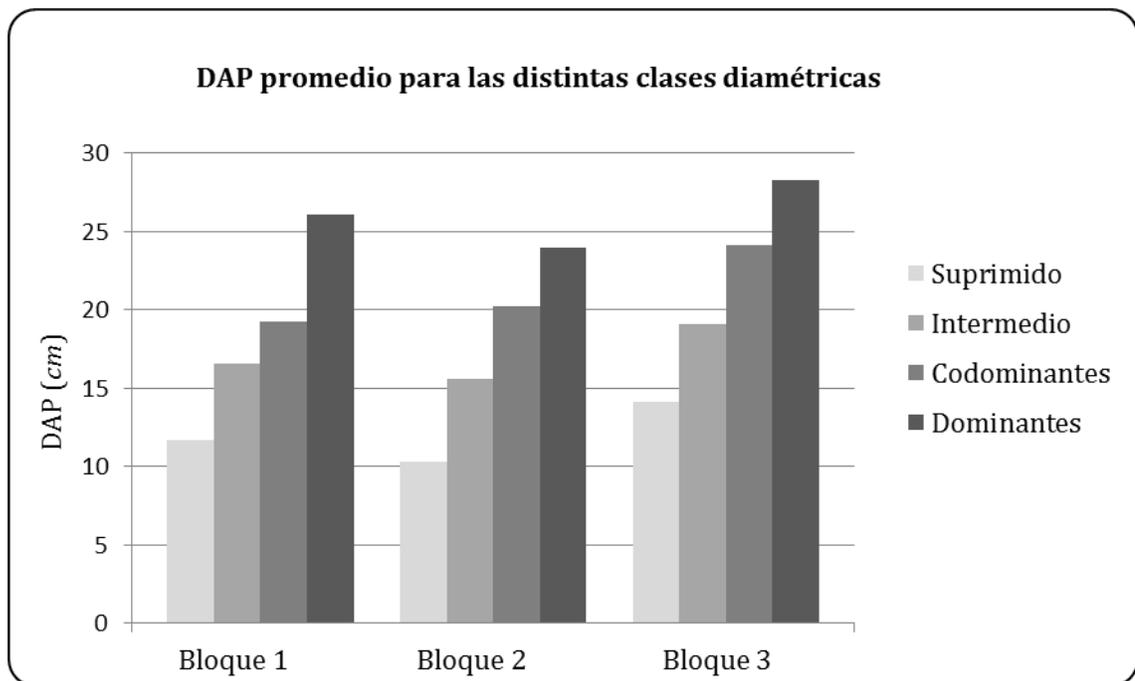


Gráfico 2 - DAP promedio para las distintas clases diamétricas en los distintos bloques.

En el gráfico se puede observar que hay 4 clases diamétricas bien definidas, lo cual evidencia que hay un crecimiento diferencial entre individuos, que puede deberse a diferentes factores. Este comportamiento fue descrito por Gamundi (1998), quien interpreta que el bosque comienza a estratificarse de acuerdo a la capacidad de sobrevivencia de cada individuo, las cuales para desarrollarse depende de varios factores entre los que podemos nombrar: la radiación solar, el agua, nutrientes, etc. Al principio, los árboles se desarrollan homogéneamente con muy pocas variaciones que son debidas principalmente a condiciones del suelo, pero a medida que avanzan en su desarrollo, las copas de los árboles comienzan a juntarse hasta que la masa queda totalmente cerrada, no permitiendo la entrada de luz a las capas inferiores. Si bien hasta ese momento los árboles disponían de todos los elementos necesarios para su crecimiento, a partir de allí, al disminuir la cantidad de luz solar que reciben, se inicia entre ellos una respectiva competencia. Frecuentemente se inicia un rápido crecimiento en altura buscando la luz en detrimento

del crecimiento en diámetro, y se crean además múltiples relaciones de competencia por otros elementos necesarios para el crecimiento.

Para tener una descripción más detallada de la distribución de los DAP (ver Anexo III) se dispuso los valores en forma de porcentaje (Gráfico 3).

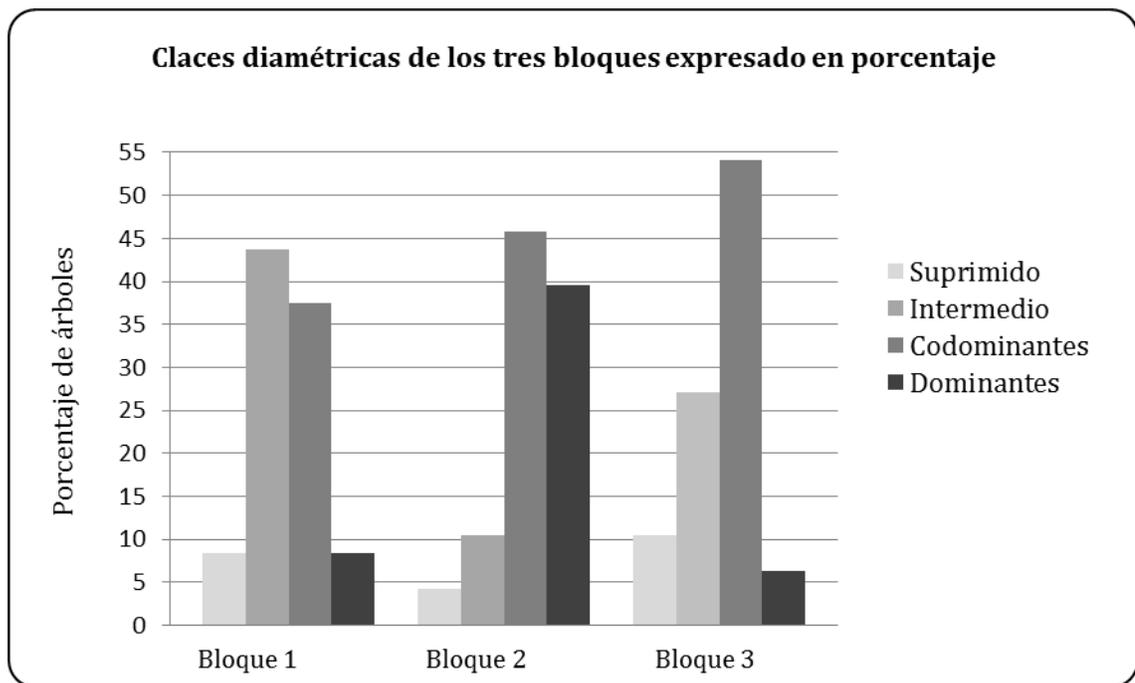


Gráfico 3 - Distribución de los árboles expresado en porcentajes con respecto a la clasificación de sus diámetros en cada bloque.

En el gráfico, está representado el porcentaje de árboles de cada clase diamétrica en su respectivo bloque donde podemos observar:

- ❖ Bloque N° 1: Los árboles más representativos son los intermedios con un valor de 44 %.
- ❖ Bloque N° 2: Los árboles que se destacan por encima del resto son los codominantes con un valor de 45 %.
- ❖ Bloque N° 3: Los árboles codominantes superan a las otras clases diamétricas con un valor del 54 %.

Para establecer si existían diferencias estadísticamente significativas en el DAP de los individuos de los diferentes bloques se realizó una ANAVA (Cuadro 3).

Cuadro 3 - Análisis estadístico de los tres bloques de *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Ubicación	Individuos	Media	Desviación estándar	CV	Error estándar	Varianza	Estadístico
Bloque 1	47	16,40	3,31	0,20	1,80	11,20	A
Bloque 2	48	19,40	3,31	0,16	1,80	10,76	B
Bloque 3	47	19,80	3,72	0,18	1,90	14,15	B

El análisis estadístico de las medias, realizado a los distintos bloques de álamos, muestra que existieron diferencias significativas entre los bloques ($p < 0.05$), distinguiéndose claramente la diferencia que existe entre bloque 1 frente el 2 y el 3. Esto permitió agruparlos solo 2 bloques en el análisis de muestreo para lo cuál se consideraron los bloques 1 y 3.

Representando cada uno de los bloques una posición sobre el surco de riego, la diferencia encontrada entre bloques nos daría la pauta que el agua entregada a estas plantas, en riego por surco estaría mal distribuida.

Una vez realizadas las observaciones visuales a campo se pudo explicar el comportamiento del agua en el surco. Se observó que el riego por surco en el bloque 1 se vio afectada por una pequeña elevación en el terreno, al pasar el tiempo, hizo que se tomara la decisión de pasar los caños para el riego más adelante, salteando dicha elevación. Esta es una de las causas de los distintos crecimientos de los árboles que se pueden observar en los Gráficos 2 y 3, en consecuencia la afirmación de las diferencias encontradas en bloques con el análisis de la ANAVA en el Cuadro 3. Esto quiere decir que la entrega de agua crea diferentes micrositios que se van formando para cada árbol y dan respuesta directa al crecimiento individual de cada ejemplar (Padro y Orezans, 1987).

DETERMINACION DEL NÚMERO DE INDIVIDUOS PARA LA EVALUACIÓN DEL FUSTE.

De acuerdo a los resultados del ANAVA para la obtención del número de muestras se consideró solo los bloque 1 y 3, y en la función “tamaño de muestra” se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011). En el Cuadro 4 se muestran los datos requeridos para el análisis correspondiente.

Cuadro 4 - Tamaño de muestra para el estudio, en *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Variables requeridas para la obtención de muestras en el programa estadístico Infostat	
Desvío Estándar (δ)	3,30344999
Varianza (cota superior para la varianza)	10,91278185
$\delta*2$ (Amplitud intervalo de confianza)	6,60689998

Programa Infostat

El número de muestras determinado por el software requerido para representar a la población fue de 3; para ellos se consideraron: “árbol chico” (cc), “árbol medio” (me) y “árbol grande” (gg). Así se identificaron los arboles dentro de los bloques relevados (Anexo II).

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN REAL.

Una vez obtenido el número de muestras a extraer y definido los árboles a apear, estos fueron ubicados dentro de cada parcela de muestreo. En el Cuadro 5 se muestran identificados: el árbol con su respectivo diámetro, el bloque al que pertenece, el número de repetición dentro de la muestra (parcela) y el número de orden de las plantas en la parcela de muestreo.

Cuadro 5 - Identificación de los árboles a apear en el lote de muestreo

Árbol	Diámetro DAP(cm)	Bloque	Parcela	Nº Orden
cc	17,8	1	2	7
me	19,0	3	1	15
gg	28,3	3	3	4

Posteriormente identificado el árbol en la parcela de estudio se verificó que no tuvieran ninguna deformación o que estuvieran enfermos. Los árboles en estudio fueron apeados a 0.3 m del suelo (Fig. 7), y luego troceados cada 1 m (Fig. 8), para la determinación del crecimiento anual a través de la medición de los anillos a distintas alturas del mismo. Esta técnica para medir los anillos de crecimiento es descripta por Prodan *et al.*, (1997); Imaña y Encinas, (2008).



Fig. 7 – Apeo del árbol mediano (me), en el bloque 3, de la parcela 1.



Fig. 8 - Corte de troza del árbol chico (cc), en el bloque 1, de la parcela 2.

El análisis de los anillos se realizó en el laboratorio de la cátedra de Dasonomía en la Universidad Nacional de Río Cuarto. De cada rollizo obtenido de los árboles seleccionados se cortó una rodela (Fig. 9). En las figuras 10, 11 y 12 a modo de ejemplo están dispuestos en forma horizontal las muestras representando en cada árbol; además se muestran algunas rodelas donde se puede visualizar los anillos de crecimiento (Fig. 13 -14 - 15 y 16).



Fig. 9 - Muestras de rodela de los árboles grande (gg), mediano (me) y chico (cc).



Fig. 10 - Rodelas correspondientes al árbol grande (gg) del bloque 3, parcela 3.



Fig. 11 - Rodelas correspondientes al árbol medio (me) del bloque 3, parcela 1



Fig. 12 - Rodelas correspondientes al árbol chico (cc) del bloque 1, parcela 2.



Fig. 13 – Rodela N°4 del árbol grande (gg).

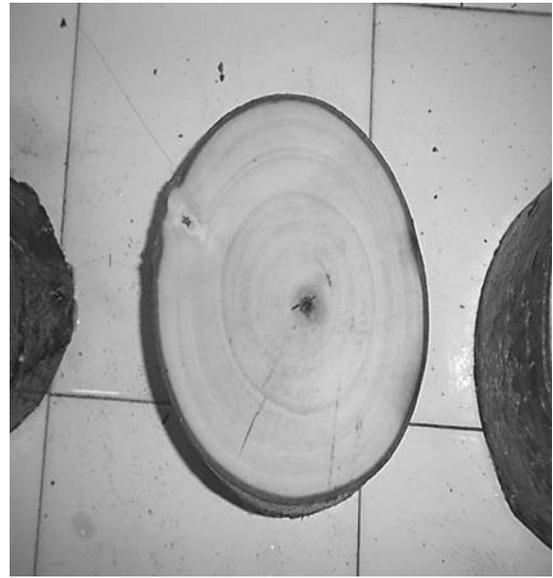


Fig. 14 – Rodela N° 6 del árbol chico (cc).



Fig. 15 - Rodela N° 10, del árbol grande (gg).



Fig. 16 - Rodela N° 7 y N° 2, del árbol mediano (me).

Una vez medido los anillos de crecimiento de cada rodela, los datos obtenidos se ordenaron en cuadros, donde se describe: el número de anillos, la altura en que se encuentra y el valor promedio de diámetro de dicho anillo, los árboles gg, me y cc están representados en los Cuadros 6, 7 y 8 respectivamente.

Cuadro 6 - Mediciones diamétricas del árbol de la clase grande (gg) de *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Altura (m)	Árbol muestra gg								
	Número de anillos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.3	4,50	5,8	9	15,1	17,75	20,7	24,5	24,55	26,2
1.3	2,60	4	6,35	11,5	15,4	18,5	21	23	24,9
2.3	2,35	3	4,75	9,9	15,4	17,5	20,85	23	24,75
3.3	1,00	1,45	2,35	6,95	10,35	16	19,25	22,2	24
4.3		0,8	2	5,8	9,8	14,05	17,15	20,1	23
5.3			1,65	3,2	7,35	11,85	16,75	19,5	22
6.3			1,55	4,75	7,1	9,5	13,7	16,7	19
7.3			1	4	6,25	8,5	13,6	15,9	18,6
8.3				2,2	5,4	7,8	8,8	9,9	14
9.3				2,05	4,15	6,65	7,4	8,9	12
10.3					2,95	5,85	7	8,55	9,8
11.3					1,2	2,05	3,95	5	7,1
12.3					0,9	2,2	2,9	4,75	6,3
13.3					0,6	1,8	3	4,3	5,1
14.3						1,2	1,8	2,9	3,3

Cuadro 7 - Mediciones diamétricas del árbol de la clase media (me) de *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Altura (m)	Árbol muestra me								
	Número de anillos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,3	3,5	4	5,9	8,7	12,1	15,1	16,95	18,15	19,1
1,3	3,45	3,5	4	7,6	10,9	13,3	15,15	16,65	17,7
2,3	1,45	2,35	3,4	7,35	9,8	12,6	14,85	15,9	16,82
3,3	0,95	1,6	2,9	5,3	7,85	10,6	13,95	15,3	15,95
4,3		1,45	2,95	6,1	8,5	12,15	13	14,95	16,1
5,3		1,2	3	5,3	8,3	10,95	12,6	13,9	14,55
6,3			2	4,4	7,4	9,5	12,05	13	13,65
7,3				1,5	3,05	6,65	10,2	12,3	13,75
8,3					1,55	3,8	6,6	9,15	11,2
9,3					1,3	3,1	5,95	8,6	10,35
10,3					1,1	2,85	4,75	6,95	8,7
11,3					0,6	2	3,4	6	8,1
12,3						1,55	2,45	3,95	5,45
13,3						1,15	2,15	3,35	4,6

Cuadro 8 - Mediciones diamétricas del árbol de la clase chica (cc) de *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Altura (m)	Árbol muestra cc								
	Número de anillos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,3	2,2	2,8	4,5	7	9,7	12	13,3	15,1	16,2
1,3	2	2,5	4	5,7	8,2	10,7	12,8	14	14,7
2,3	1,5	2,3	3,2	4,6	7,5	9,7	11,9	13,4	14,6
3,3	1	2,2	3	4,5	5,8	8,6	10,8	12,3	13
4,3		2	2,5	4	5,5	8,4	9,8	11,8	12,5
5,3		1	2,2	2,5	4	5	7,2	8,8	10
6,3			0,7	1,7	2,5	3,5	5,6	7,6	9,5
7,3			0,5	1,5	2	3	4,2	5,9	7,6
8,3			0,4	1	1,6	2,3	3,8	5,2	7
9,3				1	1,5	2,6	3,2	4,1	4,5
10,3				0,5	1,4	2,1	2,5	3,2	3,6
11,3						0,8	2	2,5	3
12,3							1	1,5	2,5

Ceballos Jiménez (2000), describe que en climas templados, los árboles crecen a razón de un anillo anual. En sitios donde existen claramente diferenciados los periodos de verano e invierno, o de lluvias y sequias, el crecimiento de los árboles se refleja en los anillos, originando sectores que, comparativamente, crecen más y sectores donde el crecimiento es mínimo y en muchos casos, es nulo. Esa diferencia de crecimiento entre los tejidos del leño inicial o temprano y leño tardío, representados en las capas sobrepuestas, produce nítidamente áreas más o menos concéntricas que son denominadas anillos de crecimiento. La formación de los anillos de crecimiento requiere consecuentemente de la existencia de un periodo de estrés fisiológico durante el año, lo que se asocia a climas de la región templada, es decir que en ese tipo de clima la formación de los anillos queda bien definida y puede aceptarse que reflejan la edad del árbol (Imaña y Encinas, 2008; Gutiérrez, 2008; Bravo Morales, 2009). Este fenómeno descripto, permitió identificar los anillos de crecimiento para cada año de edad de la plantación. El diámetro medio de estos anillos se puede observar en los Cuadros 6, 7 y 8.

Para la comprensión de la dinámica del crecimiento de los árboles, se reunieron los datos obtenidos en los Cuadros 6, 7, y 8, los que fueron expresados en el Gráfico 4.

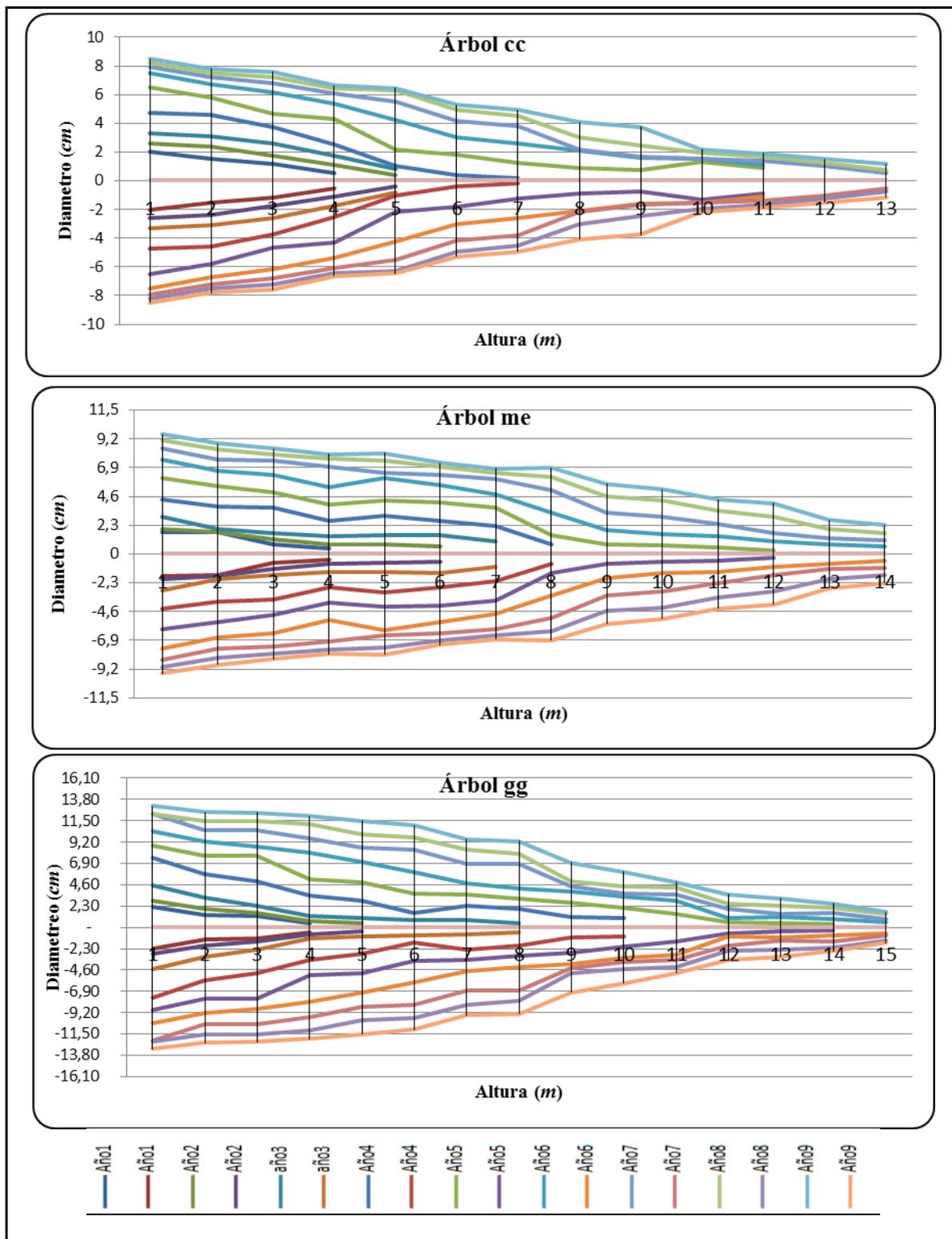


Gráfico 4 – Reconstrucción de los fustes de los árboles cc, me y gg, con los anillos de crecimiento medidos en laboratorio, para *Populus x euroamericana* cv. I-214.

En concordancia con Brien y Zuidema (2007), se consideró que los datos de los anillos de crecimiento revelan información confiable del crecimiento del árbol a lo largo de su vida y éstos datos pueden ser usados para calcular la tasa de crecimiento en diámetro, altura y con ellos el volumen.

Conociendo el espesor de los anillos para cada año y la altura, se obtuvo el volumen acumulado (m^3) mediante la ecuación de cubicación Newton, reconocida como la de mayor precisión en el campo forestal. A esta ecuación se la comparó con la fórmula de cono para poder determinar si ésta era apropiada para estimar los volúmenes de los 142 árboles de muestra. Los resultados se muestran en los Cuadros 9, 10 y 11.

Cuadro 9 - Volumen acumulado (m^3) del árbol gg.

Formulas	Volumen acumulado (m^3)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Newton	0,0017	0,0034	0,0091	0,0374	0,0807	0,1387	0,2119	0,2727	0,3335
Cono	0,0017	0,0038	0,0155	0,0555	0,1096	0,1607	0,2369	0,2381	0,2715

Cuadro 10 - Volumen acumulado (m^3) del árbol me.

Formulas	Volumen acumulado (m^3)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Newton	0,0016	0,0023	0,0058	0,0205	0,0436	0,0783	0,1164	0,1511	0,1797
Cono	0,0011	0,0022	0,0057	0,0145	0,0433	0,0794	0,1051	0,1263	0,1463

Cuadro 11 - Volumen acumulado (m^3) del árbol cc.

Formulas	Volumen acumulado (m^3)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Newton	0,0018	0,0041	0,0080	0,0167	0,0328	0,0577	0,0759	0,0914	0,1051
Cono	0,0014	0,0030	0,0050	0,0149	0,0459	0,0666	0,0798	0,0912	0,1025

En los Cuadros 9, 10 y 11 se comparan los distintos volúmenes por cada fórmula. Lo que se puede observar es que la fórmula del cono subestima en 20% el volumen de los árboles con el volumen obtenido por Newton. Si bien se considera que la fórmula de Newton da resultados más exactos al volumen real de la troza, la fórmula del cono aún con la subestimación

que genera, arroja resultados aceptables para estimar la producción de los 142 árboles de la muestra total.

La posibilidad de utilizar la fórmula del cono facilita la obtención de los volúmenes para el último año de la evaluación, a partir del DAT (Diámetro a la altura del tocón) y de la altura promedio (Anexo VII y VIII). En consecuencia se pudo determinar el volumen total de los árboles intermedios entre los árboles a los que se le realizó el análisis del fustal. Es decir que se logró obtener el volumen real de los 142 árboles correspondientes al 4,6 % de la población (Anexo V). Luego para conocer el crecimiento de cada año de vida se utilizaron las proporciones de crecimiento medidos en los árboles apeados (Cuadro 12), (Anexo IV). Dichas proporcionalidades de crecimiento fueron consideradas de acuerdo a lo aseverado por Atalaya (2000), el cual manifiesta que para una misma región la distribución de los anillos de crecimiento responde a un patrón determinado cuando las condiciones de sitio son semejantes.

Cuadro 12 - Comparación del CV de las proporcionalidades de los tres individuos de estudio.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
gg	0,0052	0,0102	0,0274	0,1123	0,2421	0,4158	0,6353	0,8178	1,0000
me	0,0087	0,0129	0,0321	0,1143	0,2427	0,4359	0,6475	0,8409	1,0000
cc	0,0073	0,0192	0,0408	0,0988	0,2133	0,3946	0,6032	0,8224	1,0000
Promedio	0,0070	0,0141	0,0334	0,1084	0,2327	0,4154	0,6286	0,8270	1,0000
DE	0,0018	0,0046	0,0068	0,0084	0,0168	0,0207	0,0229	0,0122	0,0000
CV	25,0386	32,8779	20,3333	7,7613	7,2227	4,9810	3,6378	1,4788	0,0000

En el cuadro se observa que en los primeros años de edad hay una alta variación dado a que en edades tempranas los árboles crecen en forma diferente entre ellos, no ocurriendo lo mismo a edades avanzadas, donde producen un crecimiento semejante a través de los años.

La distribución de las proporcionalidades de crecimiento en el tiempo se pueden observar más claramente en el Gráfico 5.

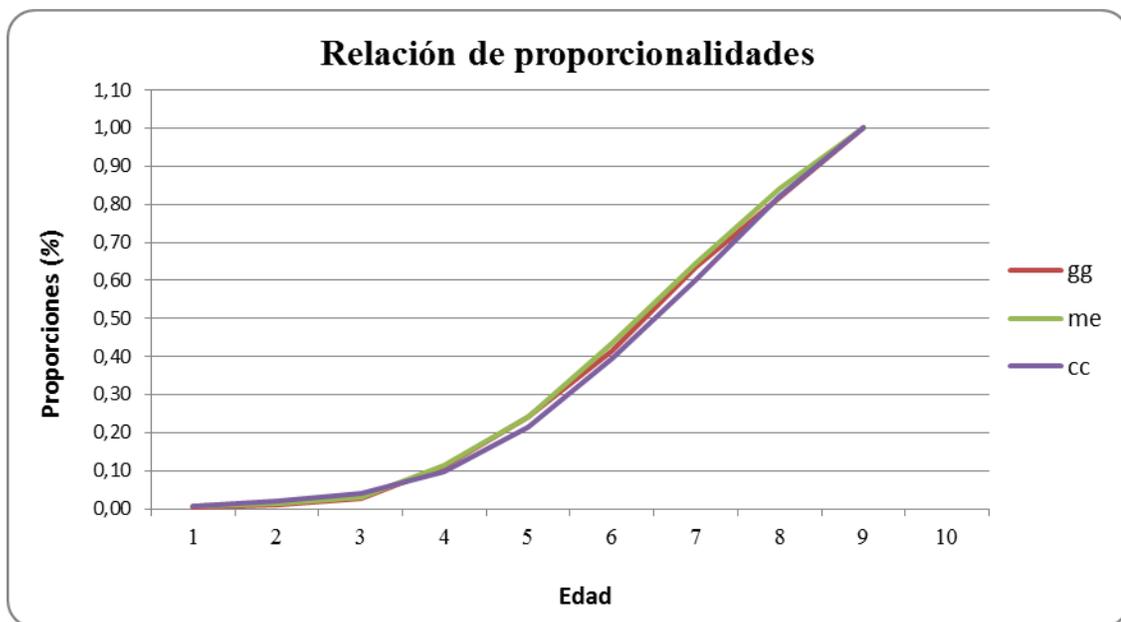


Gráfico5 - Proporcionalidades de los volúmenes para los tres árboles (gg, me, cc), de *Populus x euroamericana* cv. I-214.

En el gráfico anterior se muestra la comparación de las proporcionalidades de volumen acumulado de los 9 años de edad de los tres árboles, encontrándose una alta semejanza en los árboles muestreados. Esta observación coincide con lo expresado por Atalaya (2000) quien señaló que las variaciones en anchuras sucesivas se encontraban de manera idéntica en todos los troncos originados en una misma región. Esto significa que el ambiente produce un efecto similar en todos los árboles que crecen en una misma área. Los estudios dieron lugar a un principio fundamental de la dendrocronología: en condiciones climáticas semejantes en el interior de una región, los árboles dan una respuesta idéntica, inscrita en la cantidad de madera formada, es decir, existe una similitud de las variaciones en el ancho de los anillos, especialmente de los valores máximos y mínimos, en el interior de la masa arbórea. Los árboles situados en una misma región climática y que han crecido al mismo tiempo, muestran una variación sincrónica en la tasa de crecimiento anual, es decir, las series de grosor relativo de anillos siguen un mismo patrón.

Sobre esta base, considerando el volumen total de los 142 árboles y las proporciones de crecimiento se obtuvo el volumen corriente de cada individuo (Gráfico 6).

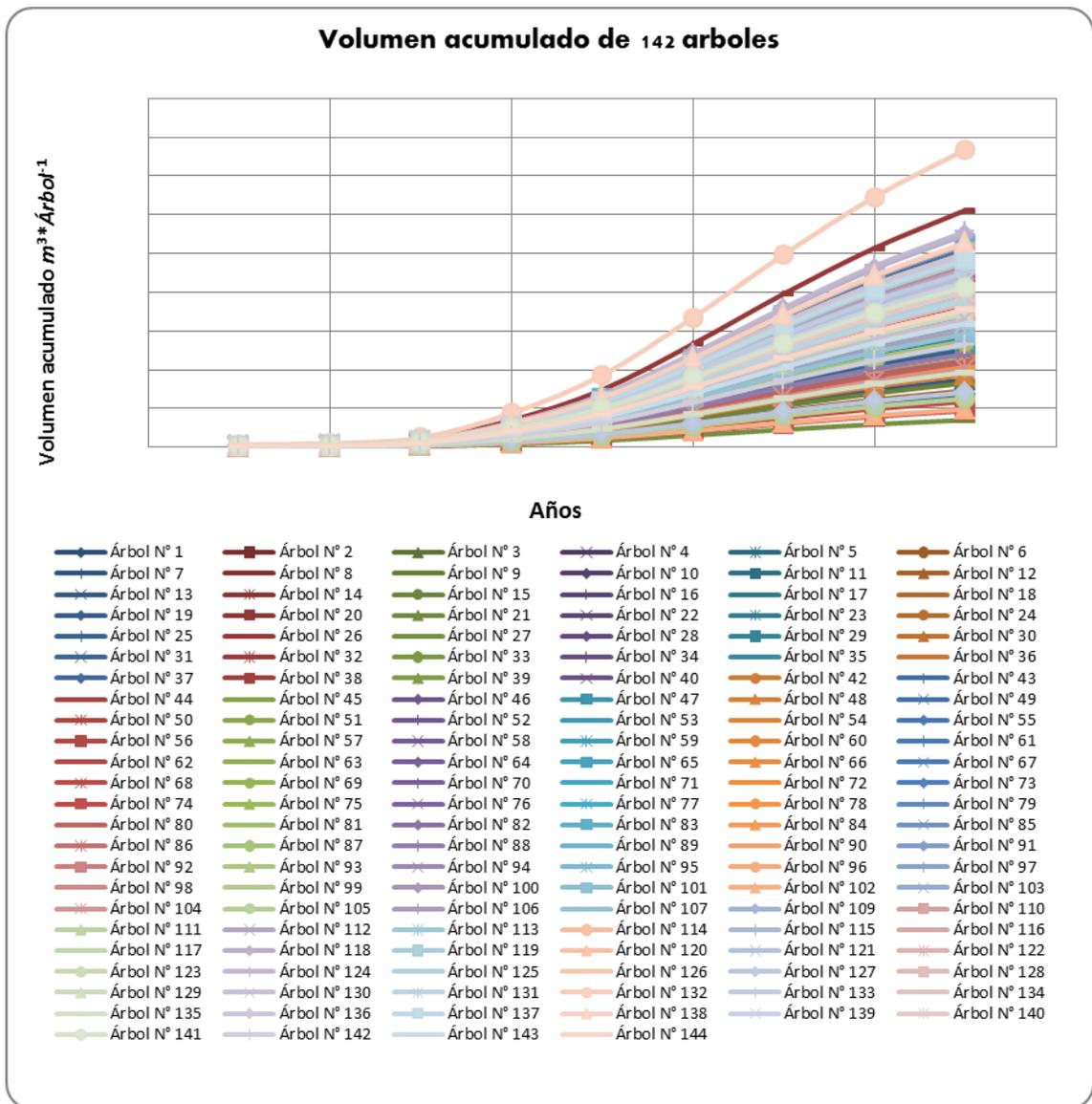


Gráfico 6 - Volumen real acumulado para los 142 árboles muestreados, de *Populus x euroamericana* cv. I-214.

PARAMETRIZACIÓN DE LAS FUNCIONES DE CRECIMIENTO.

Los datos de volúmenes reales (Gráfico 6), fueron utilizados para parametrizar las funciones de crecimiento frecuentemente utilizadas en el uso forestal, donde el volumen del rodal fue la variable dependiente y la edad se usó como predictor. En el Cuadro 13 se muestran los resultados estadísticos obtenidos en el análisis de las funciones para un valor ($p \leq 0,05$); las funciones se analizaron en el programa estadístico Infostat (Di Renzo *et al.*, 2011).

Cuadro 13 - Nivel de significación estadística en la determinación de los parámetros.

FUNCIÓN	P-VALOR				CM ERROR	R ²
	ALFA	BETA	GAMA	DELTA		
Logística	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-----	0,00140	0,933
Logística con corrimiento	0,9916	0,8959	0,9916	0,9918	0,00120	0,999
Logística derivada	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-----	0,00091	0,954
Gompertz	0,9948	0,9941	0,9866	0,9959	0,00090	0,927
Gompertz con corrimiento	0,9792	0,8411	0,7979	0,4788	0,00120	0,999
Verhulst - Logística	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-----	958,75000	0,947
Moiseev III	0,008	<0,0001	0,0075	0,0617	897,53000	0,369
Hossfeld I	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00090	0,926
Smalian	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-----	0,00092	0,919
Strand	sd	sd	-----	-----	0,00100	0,852
Terazaki	0,3072	<0,0001	-----	-----	0,00090	0,932
Gemesi	<0,0001	<0,0001	-----	-----	0,00110	0,677

De acuerdo a los resultados observados en el Cuadro 13 las funciones más apropiadas para predecir el crecimiento de los álamos en un sistema de filtro verde en la localidad de Adelia María son: Logística, Logística derivada, Verhulst–Logística, HossfeldI, Smalian, y Gemesi. Éstos serían adecuados para explicar el ajuste por su mayor precisión en las estimaciones ($p \leq 0,05$).

Los parámetros de estas funciones fueron estimados con un alto nivel de significación y los valores de *EMC* y *R*² expresan un nivel de ajuste alto al crecimiento observado por lo que cualquiera de ellos podría ser utilizada para predecir el crecimiento de una plantación en un filtro verde bajo condiciones semejantes en el uso del riego realizado en Adelia María.

Para analizar la curva de crecimiento se optó por la fórmula de Hossfeld I, dado que tienen un alto nivel de significación y expresa un nivel de ajuste alto (*EMC*) (Cuadro 14).

Cuadro 14 - Resultados del análisis de regresión no lineal del programa estadístico INFOSTAT (2011): FUNCIÓN HOSSFELD I, para *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Análisis de regresión no lineal								
Modelo $vmtrs \text{ año} \times \text{año} / (a+b \times \text{año} + c \times \text{año} \times \text{año})$								
Variable	N	CMError	AIC	BIC	Iteración			
vmtrs	1278	9,0E-04	-14471,03	-14455,57	5			
Parámetros	Cota inf.	Cota sup.	Val.Ini.	Estimación	E.E.	T	p-valor	
A	-1E30	1E30	1,0E-03	1825,08	189,96	9,61	<0,0001	
B	-1E30	1E30	1,0E-03	-362,20	50,77	-7,13	<0,0001	
C	-1E30	1E30	1,0E-03	23,64	3,35	7,05	<0,0001	
Matriz de correlación de las estimaciones								
	A	B	C					
A	1,00	-0,99	0,98					
B	-0,99	1,00	-1,00					
C	0,98	-1,00	1,00					

En el cuadro anterior se puede observar el programa Infostat (2011), donde se muestra los datos estadísticos (CME, parámetros, estimación, y p-valor) obtenidos de la fórmula de *Hossfeld I* donde $V(m^3) = \frac{t^2}{a} + b \times t + c \times t^2$, utilizando los valores de la estimación de los parámetros (A = 1825,08), (B = -362,20) y (C = 23,64), se obtuvo la curva de crecimiento para los 9 años de edad de la especie en estudio.

Distribución del volumen en el tiempo y curva de ajuste de la función de Hossfeld I.

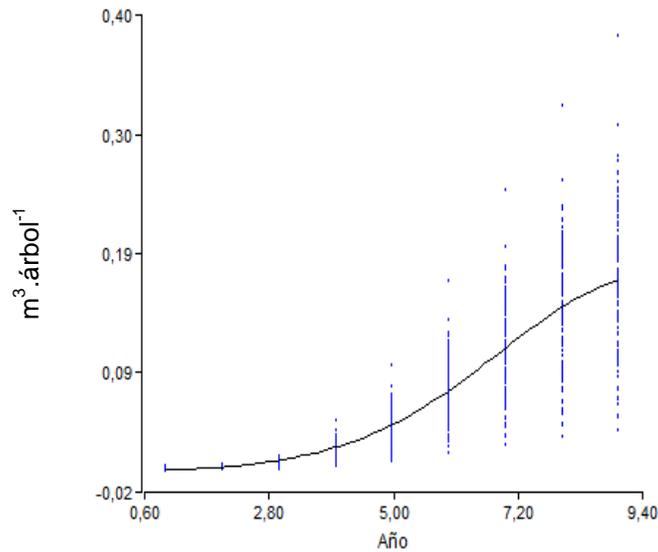


Gráfico 7 - Curva de ajuste realizada para la determinación del volumen acumulado en *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Las predicciones matemáticas del modelo Hossfeld I describe el comportamiento biológico del álamo. La curva de crecimiento de la especie por las condiciones del filtro verde presente en Adelia María: comienza con una fase de crecimiento lento, seguido de aceleración positiva que correspondería a una fase de crecimiento rápido. Es de suponer que a futuro se produzca a una desaceleración de la tasa de crecimiento hasta que finalmente la población se estanque como producto de la ocupación plena de la potencialidad del sitio y una intervención silvícola o la cosecha serían requeridas antes de alcanzar este momento. Para conocer el momento oportuno de la intervención silvícola o la cosecha de los árboles, se determinó el valor máximo técnico (Balteiro, 1997; Gonzales Galán, 2008).

DETERMINACIÓN DEL VALOR MÁXIMO TÉCNICO.

Una vez obtenido el Gráfico 7, se pudo observar que la curva tiende a una forma sigmoidea, que según Morláns (2004) señala que las poblaciones que presentan crecimiento que forman una curva sigmoidea (en general, especies de ciclos biológicos largos) van ajustando su velocidad de crecimiento según la resistencia que opone el ambiente. La etapa de aceleración se produce cuando el número de individuos está lejos de la capacidad de carga, lo que significa que aún hay disponibilidad de recursos. A mayor volumen de crecimiento los recursos comienzan a tornarse progresivamente más escasos y la población responde con una desaceleración de su

ritmo de crecimiento. Esta observación coincide con lo descrito por Imaña y Encinas (2008), que señala que la primera fase de la curva corresponde a la edad juvenil, la segunda a la edad madura o rectilínea y la tercera correspondería a la edad senil. Cada fase mantiene un ritmo de crecimiento característico de la vida total del árbol y juntos forman la curva de crecimiento. La edad juvenil se caracteriza por un crecimiento rápido muchas veces del tipo exponencial. En la edad madura, el árbol normalmente presenta periodos iguales con crecimiento semejantes (rectilíneos). La edad senil se caracteriza por un crecimiento cada vez más insignificante, desde el punto de vista relativo, mostrando una asíntota de la curva. La identificación de esas fases en el gráfico se hace en base de los puntos de inflexión de la curva, o sea, cuando hay una modificación en el ritmo de crecimiento.

Para observar el volumen acumulado a los 9 años de vida de la población, se realizó la curva a partir de la función de Hossfeld I (Gráfico 8), donde se puede percibir que a los 9 años de edad hay un crecimiento de $105,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y a partir de estos datos se obtuvieron el *ICA* e *IMA*, los que se pueden observar en el Gráfico 9 (Anexo IX).

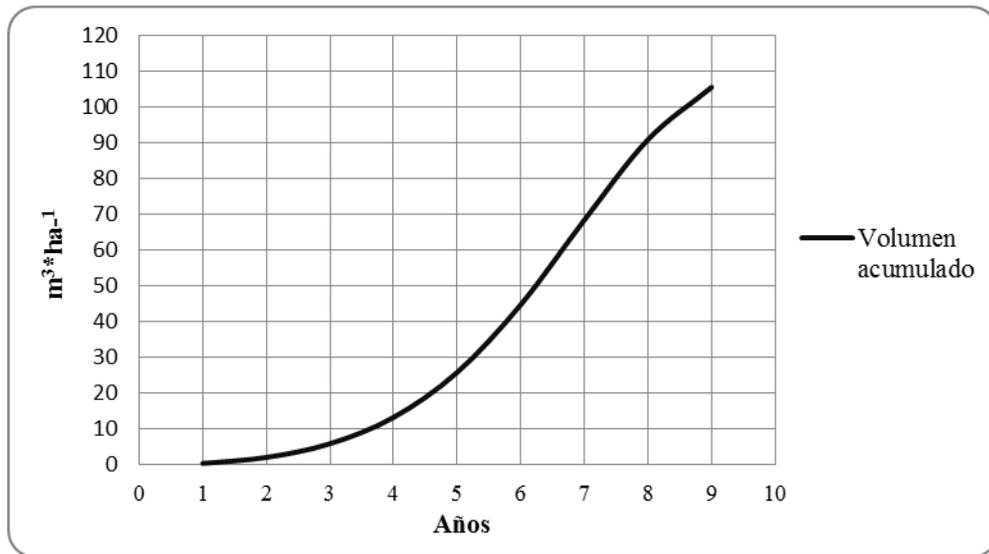


Gráfico 8 - Proyección del volumen acumulado mediante la fórmula Hossfeld I para el crecimiento en volumen acumulado en álamos.

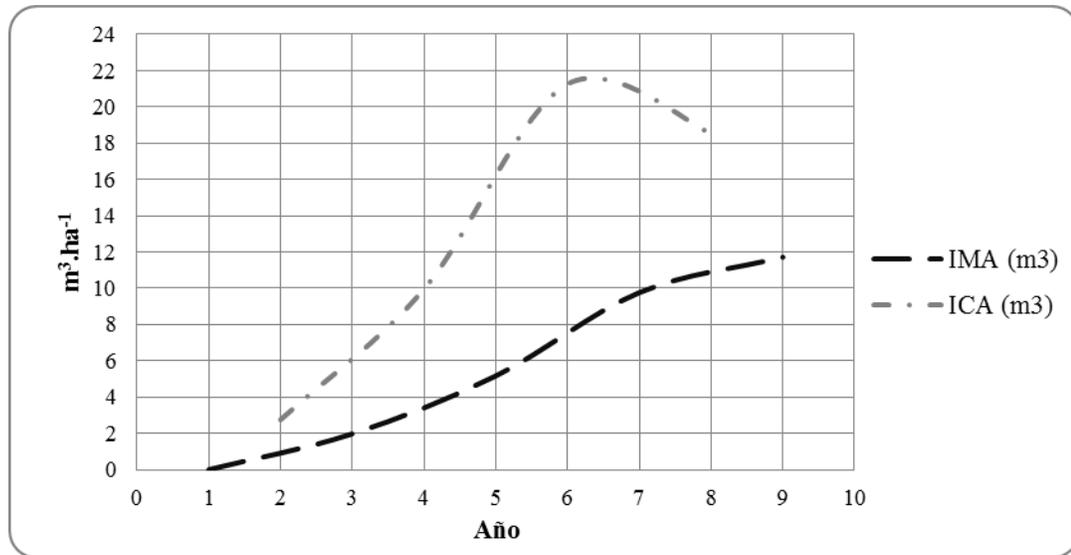


Gráfico 9 - Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) para *Populus x euroamericana* cv. I-214.

La curva del gráfico correspondiente al *ICA*, en la cual se observa que en el periodo comprendido entre los años 5 y 6, con un valor de $21,27 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, el crecimiento es creciente, aparentemente sin limitación alguna, es decir, depende del potencial biótico del individuo, de su actividad fotosintética, de la absorción de nutriente, de los procesos catabólicos y anabólicos, entre los procesos más importantes. Zeide, (1993), considera que en este tramo el peso del factor positivo es mayor que el de las restricciones, por lo que el crecimiento se dispara; a continuación se observa que en los años 6 y 7 el crecimiento se detiene y, luego el crecimiento disminuye a $18,55 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Anexo IX). Para Kiviste *et al.*, (2002) esto se debe a las restricciones impuestas por el entorno tales como la competencia entre las plantas, las limitación de recursos y el estrés y, por la propia condición de la planta, como son los mecanismos de autorregulación del crecimiento y envejecimiento.

Las curvas de *ICA* e *IMA*, al analizarlas permiten tomar decisiones silviculturales. Cuando el *ICA* es mayor que el *IMA* es señal que el *IMA* está creciendo; pero cuando el *ICA* comienza a disminuir hasta que se iguala al *IMA* indica el valor máximo de producción forestal por unidad de área (máximo técnico). Este valor se encuentra cuando ese punto de intersección se proyecta en la curva del volumen acumulado (Proe *et al.*, 2002; Imaña y Encinas, 2008). En el presente trabajo los valores de *ICA* e *IMA* no tienen un punto de intersección (Gráfico 9), por tanto los factores de sitio aún pueden mantener un crecimiento sin afectar la tasa de crecimiento del cultivo.

Prodan *et al.*, (1997) asevera que, con una simulación matemática se puede medir el crecimiento pasado con exactitud, pero su predicción futura es algo incierta. La función de crecimiento obtenida no puede predecir más allá de los 9 años estudiados, por lo tanto no se puede definir claramente cuál será el momento en que se halle la edad a la que pueda obtener el máximo técnico. Para simular ese crecimiento se proyectaron las curvas a futuro, trazando gráficamente líneas de proyección de tendencias (Gráfico 10).

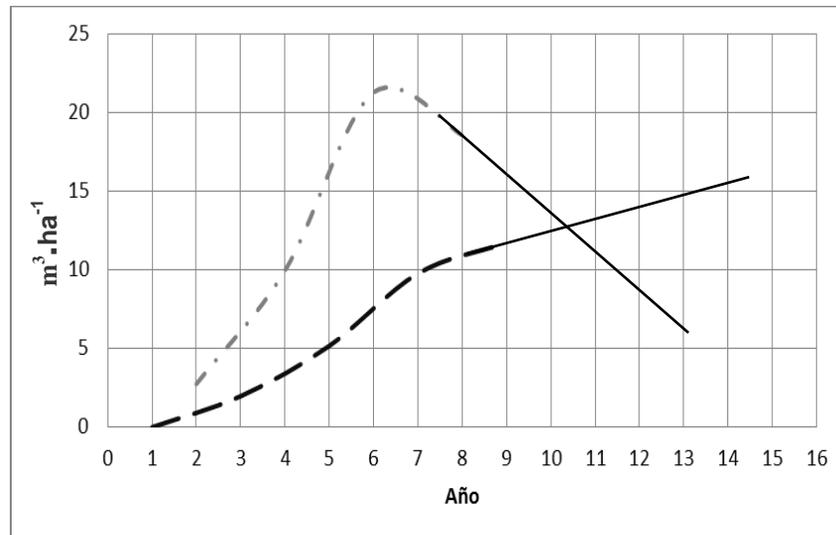


Gráfico 10 - Proyección de las curvas para ICA (· · ·) e IMA (— —).

Al interpretar el gráfico podemos observar que el comportamiento del *IMA* e *ICA*, produce un punto de intersección en el año 10, que indica valor máximo técnico, que representa un óptimo biológico de la especie en estudio (máximo incremento medio anual) por unidad de área, indicando así la edad óptima de rotación técnica del rodal, también conocido como rotación comercial, momento en que debe ser procesada la explotación forestal. Cuando a esa edad los árboles del rodal no alcanzaron aún el diámetro mínimo deseado o establecido, en función del destino a la que se desea la producción forestal, se debe proceder con la aplicación de alguna acción silvícola (raleo), para que el rodal retome el crecimiento y los individuos arbóreos puedan ingresar en el correspondiente aprovechamiento forestal.

Lo referido anteriormente coincide con lo descrito por Proe *et al.*, (2002), en el cual interpreta que el valor máximo técnico se alcanza cuando el incremento de biomasa anual medio (*IMA*) es igual al incremento anual corriente (*ICA*) dando la posibilidad de interpretar que para una determinada densidad inicial corresponde un turno óptimo en el cual se aprovechan al máximo los recursos del suelo.

Para obtener un supuesto de comparación del crecimiento se busco en la bibliografía una experiencia semejante en una zona donde el ambiente es muy favorable para la producción como es la provincia de Mendoza, donde Riu *et al.*, (2000) revelan la producción de la especie *Populus x euroamericana* cv. I-214, en la localidad de La Libertad, Departamento de Rivadavia, (Latitud 33° 09' S, Longitud 68° 28' W de G y Altitud 653 msnm), para los 8 años de edad. En el Cuadro 15 se presentan los valores de producción ($m^3 \cdot ha^{-1}$) para la comparación de las dos localidades.

Cuadro 15 - Comparación de la producción para la misma especie en dos sitios distintos.

Localidad	Especie	Año	Producción ($m^3 \cdot ha^{-1}$)
La Libertad	<i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214	8	123,52
Adelia María	<i>Populus x euroamericana</i> cv. I-214	8	109,00

En el cuadro se observa que los valores no son tan distantes; el valor que corresponde a la localidad de La Libertad (Pcia. Mza.), podría explicarse por las condiciones climáticas del lugar y manejo silvícola del experimento, y por otro lado, los valores que corresponden a la localidad de Adelia María (Pcia. Cba.) podrían deberse al agua de riego proveniente de las aguas servidas, deduciendo que este sistema de filtro verde tiene un alto potencial de producción.

CONCLUSIÓN

En el método de muestreo, los resultados obtenidos expresan que tomando el 4.6 % de la superficie es suficiente para que esté representada la población.

Para determinar el volumen real para cada año de vida, la fórmula del cono arrojó resultados satisfactorios al compararlos con la fórmula de Newton.

Los datos de los anillos de crecimiento revelan información confiable del crecimiento del árbol a lo largo de su vida.

Los resultados de los análisis en los anillos de crecimiento muestran una alta semejanza en las proporcionalidades de crecimiento. El ambiente produce un efecto similar en todos los árboles que crecen en una misma área.

Los modelos que tienen mayor precisión en las estimaciones son: Logística, Logística derivada, Verhulst–Logística, Hossfeld I, Smalian, y Gemesi.

El valor máximo técnico obtenido para la especie *Populus x euroamericana* cv. I-214 creciendo en un filtro verde situado en la localidad Adelia María, Córdoba, fue definido como la edad que comprende entre los 10 y 11 años.

El método de filtros verdes se podría considerar un sistema de alta producción forestal, acompañado con un buen manejo silvícola.

NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Ya que estos sistemas son nuevos a la hora de plantear una nueva forestación, se tendría que diversificar la base genética, logrando distintas parcelas con sus respectivas variedades, para lograr experiencia y dejar plasmado la respuesta de esta especie en este sistema. El objetivo es producir una mayor cantidad de biomasa demandando alta cantidad de agua. Además de la selección del recurso genético, un conjunto de experimentaciones deberían llevarse adelante:

- ❖ Optimizar los sistemas de riego (coeficiente de los cultivos, balances hídricos, cronogramas de riego).
- ❖ Determinar la eficiencia de depuración de las especies.
- ❖ Dinámica de nutrientes y relación con la calidad del agua de riego.
- ❖ Adaptar sistemas de manejo integrado de malezas y plagas.
- ❖ Adecuar los espaciamientos y turnos a la característica del material a obtener.
- ❖ Valorar la aptitud de la especie al recepe.
- ❖ Determinación de modelos de estimación de biomasa.
- ❖ Desarrollar criterios para la evaluación de impacto ambiental para el conjunto de actividades del filtro verde.
- ❖ Valoración económica de la depuración de agua residual urbana a través de filtros verdes.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, A.; C. ANDRADA y R. AVILA** - 2006. Entidad Educativa Instituto Adelia María. En: www.adeliamaria.com.ar. Consulta: 14-02-09
- ÁLVAREZ VEGA, F.** - 2002. Filtros verdes. Un sistema de depuración ecológico. Ingeniería hidráulica y ambiental, vol. XXIII, N°1. En: www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd19/collazo/filtverd.pdf. Consultado: 02-03-09
- AMO Del. R., C. y J. NIETO De P.** - 1983. “Aplicación de ecuaciones y modelos matemáticos en la evaluación en las tasas de crecimiento y determinación de la edad en árboles tropicales”. In: F.H. Bormann y G. Berlyn (ed.) Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Trad. del inglés por Carmen Alicia de la Parra. ed. Continental, Xalapa, Veracruz. México. Pp. 133-138.
- ATALAYA, A.** - 2000. “Los árboles: Archivos del tiempo”. Dendrocronología. En: www.infomadera.Net/uploads/articulos/archivo_2034_17591.pdf. Consultado: 01-10-2009
- BALTEIRO, L.** - 1997. Turno forestal económicamente óptimo. Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias. Universidad Politécnica de Madrid. Economía Agraria, N° 180. (pp 181-224).
- BRAVO MORALES, N.** - 2009. Manual para la identificación de maderas forestales. Facultad de Recursos Naturales Renovables, especialidad Forestales. Tingo María, Perú.
- BRIENEN, R. y P. ZUIDEMA.** - 2007. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia. PROMAB/ IGEMA Informe Técnico Nro. 7I GEMA, Instituto de Geología y Medio Ambiente de la Universidad Mayor de San Andrés.
- CASTRO DASSEN, H.; L. MONELOS; P. PERI y C. ALBRIEU** - 2003. Recurso de aguas servidas tratadas para riego con goteo subterráneo de una forestación en Santa Cruz. INTA y Universidad de la Patagonia. Austral. En: www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/recnat/usoAguaServida. Consultado: 03-03-09
- CEBALLOS JIMENEZ, R.** - 2000. “Los árboles, seres vivos para la ciencia”. Colegio oficial de Ingenieros de Montes, España. En: www.ingenierosdemontes.org/download/arboles_seres_vivos.pdf. Consultado: 01-10-2009.
- CIPOLLETTI, M. O.** - 1978. “Evaluación Cuantitativa de bosques implantados”. Curso de perfeccionamiento profesional de Dasonomía con orientación en forestación. Ministerio

de Agricultura y ganadería de la provincia de Santa Fe y Facultad de Ciencia Agraria de la Universidad de Rosario.

COOPERATIVA DE PROVISIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS VIVIENDA Y CONSUMO "16 DE OCTUBRE" LTDA. – 2001. Esquel, Chubut. En: www.coop16.com.ar. Consultado 02-03-09.

CORVEA J.; J. SANZ; I. BUSTAMANTE; M. VERA y J. MARTÍN – 2002. El suelo como depuradora. Grupo de Investigación en Filtros Verdes. Universidad de Alcalá de Henares. España. En: www.madrimasd.org/cienciaysociedad/entrevistas/quien-es-quien/pdf/24.pdf. Consultado: 01-02-09.

DE PRADA, J. D. - 2007. Valoración económica de bienes y servicios ambientales en ecosistemas forestales jornadas forestales de Entre Ríos, Concordia. En: <http://anterior.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/311.I.PRADA.pdf>. Consultado: 02-03-09.

DELGADO, C. D. y D. ANTÓN - 2004. Sequía en un mundo de agua. En: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/sequia/cap13.html>. Consultado: 08-02-09

FAO. - 1996. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales. Unasyuva. Nº 185. Influencias de los bosques. Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques. En: www.fao.org/docrep/w0312s/w0312s00.HTM. Consultado: 04-03-09.

GAMUNDI, G. - 1998. El raleo forestal. En: <http://www.bse.com.uy/almanaque/Almanaque%201982/pdf/0%20-%20041.pdf>. Consultado: 02-10-10.

GONZALES GALAN, D. - 2008. Recursos renovables: turno forestal óptimo Economía de los Recursos Naturales Tema 3 Universidad de Huelva España.

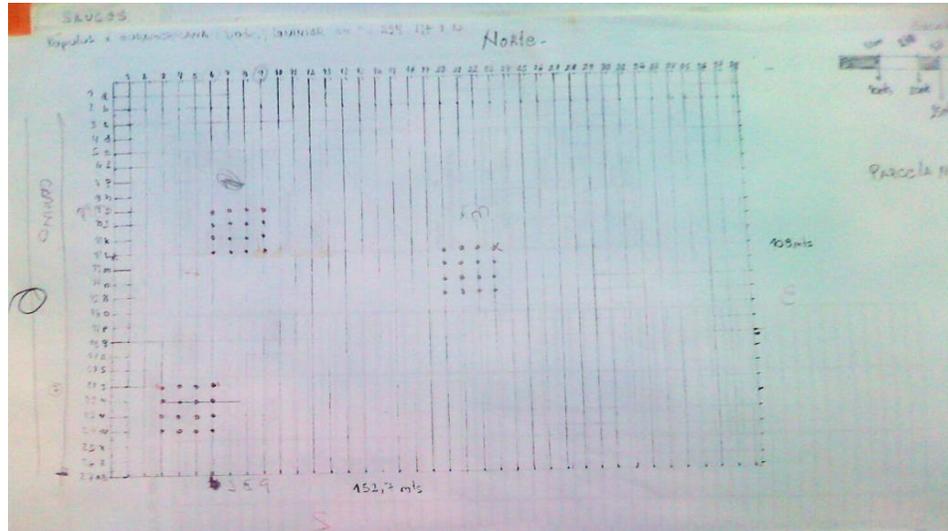
GUTIERREZ, E. - 2008. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. Depto. de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona Av. Diagonal, 645. 08028. Barcelona, España.

- INFORME ANUAL DE ACTIVIDADES - COOPERATIVA TELEFÓNICA DE ADELIA MARÍA LTDA.** - (2007). En: <http://www.amaria.com.ar/cooperativa/noticias.php>. Consultado: 15-10-10.
- DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA y ROBLEDO C.W.** - (2008). *InfoStat, versión 2011*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- IMAÑA, E. y B. ENCINAS** - 2008. *Edometría Forestal Brasilia*: Universidad de Brasil, Departamento de Engenharia Florestal Merida: Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. ISBN 978-85-87599-31-5.
- INTA Chubut.** - 2001. Reuso del agua de enjuague del lavadero de lanas Chargeurs Wool, planta Trelew, con fines de riego en forestales. En: www.inta.gov.ar/documentos/plantecologico-regional/file. Consultado: 02-02-09.
- INTA Informa** - 2000. Suplemento N° 107. En: http://anterior.inta.gov.ar/info/intainfo/ant/2000/107_diciembre_00.htm. Consultado: 02-01-09.
- KIVISTE, A.; J. G. ALVAREZ GONZÁLEZ; A. ROJO ALBORECA y A. D. RUIZ GONZÁLEZ** - 2002. *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. España. Vol. 4. ISBN 84-7498-484-X; Localización: INIST-CNRS, Cote INIST: L 28586.
- LA PAMPA, GOBIERNO** – 2003. Proyecto tratamiento y reutilización de aguas residuales de la Ciudad de Santa Rosa. En: <http://cdi.mecon.gov.ar/biblio/docelec/dp3121.pdf>. Consulta- do: 02-02-09.
- LEÓN S., G. y J. MOSCOSO C.** - 1996. Reuso en acuicultura de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan, Sección IV: Factibilidad técnica, económica y social. Lima: CEPIS.
- MEYER, H.; A. RECKNAGEL; D. STEVENSON y R. BARTOO** - 1961. *Forest Management*, Ronald Press, Nueva York.
- MORLÁNS, M. C.** – 2004. *Introducción a la ecología de poblaciones*. Carrera de Ingeniería de Paisajes, Asignatura Ecología del Paisaje. S.F. del V. de Catamarca, Argentina.

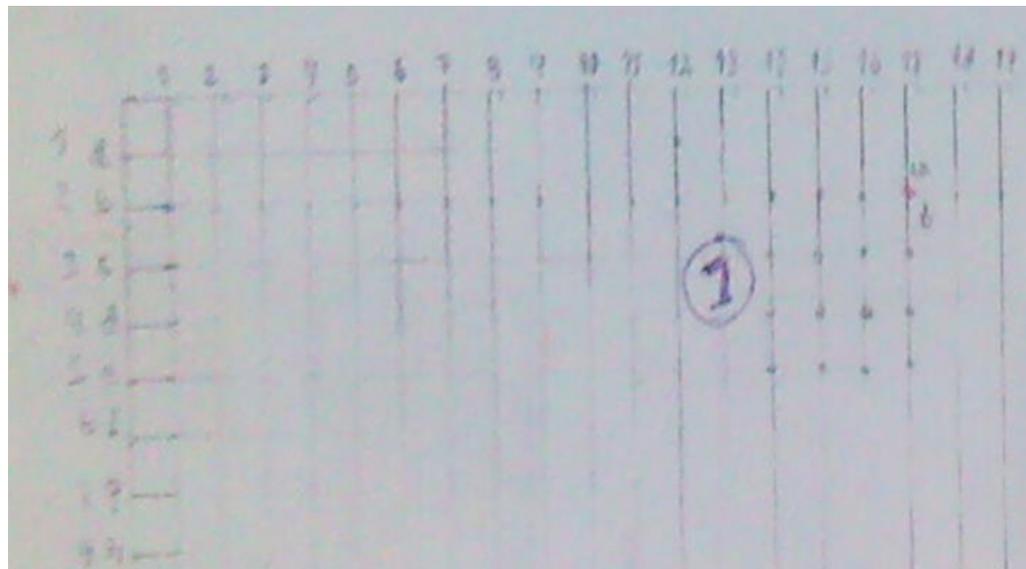
- ONGLEY, EDWIN D.** - 1996. Control of water polluting from agriculture - FAO Irrigation and Drainage. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje). FAO, Roma.
- PEASEY, A.; U. BLUMENTHAL; D. D. MARA y G. RUIZ-PALACIOS** - 2000. Review of Policy and Standards for Waste water Reuse in Agriculture: A Latin American Perspective. En: www.lboro.ac.uk/well/resources/well-studies/full-reports-pdf. Consultado: 01-02-09.
- PADRO, A. y J. ORENSANZ** - 1987. El chopo y su cultivo. Serie Técnica, MAPA, Madrid.
- PRODAN, M.; R. PETERS; F. COX y P. REAL** - 1997. Mensura forestal, proyecto IICA BMZ/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible, San José, Costa Rica.
- PROE, M. F.; J. H. GRIFFITHS y J. CRAIG** - 2002. Effects of spacing, species and coppicing on leaf area, light interception and photosynthesis in short-rotation forestry. *Biomass and Bioenerg.* 23: 315-326.
- RAMÍREZ, M. H. y B. ZEPEDA** - 1994. Rendimientos maderables de especies forestales; actualidades en México, IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales, SF y de FS/INIFAP, México.
- RIU, N; M. AGÜERO; V. SETTEPANI y J. ZULUAGA** - 2000. Requerimiento hídrico en álamos de 8 años de edad. Facultad de Ciencias Agrarias, U.N.Cuyo, Junín y AER Santa Rosa INTA, Instituto Nacional del Agua. Mendoza, Argentina.
- TEXOCO, GOBIERNO** - 2001. Agenda de Sustentabilidad Ambiental para la Zona Metropolitana del Valle de México En: www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/asa_zmvm_version_completa.pdf. Consultado: 01-02-09.
- ZEIDE, B.** - 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science*. Source: [Forest Science](#), Volume 39, Number 3, 1 pp. 594-616(23) Publisher: [Society of American Foresters](#)

ANEXO I

Planillas de distribución de parcelas y medición del DAP.



Planilla de diagrama de las parcelas en el Bloque 1 con sus coordenadas.



Visualización de números y letras en los respectivos ejes (x e y) para la ubicación de las parcelas en el lote de estudio.

parece si es
planta despus

PLANILLA DE MEDICIÓN: "Adela Maria"

N° de orden y fila	DAP (mm) *	Estado sanitario	Tercio del defecto
1	23,2		
2	18,5		
3	20,4		
x 4	10,3	(SI)	77 0,2
5	24,0		
6	18,3		
7	18,0		
8	18,3		
9	14,9		
y 10	9,0	NO EXE / MOD	
11	27,0		
12	20,0		
13	16,8		
14	14,4		
x 15	19,3		2,7 2,7
16	14,8		
17			
18			
19			

Datos Generales	
Fecha:	23/10/09
Especie:	Alamo
Parcela:	2/2
Distanciamiento:	4,4

Croquis parcela:

Longitud: m

Longitud: m
Superficie de la parcela (m²):

Planilla de relevamiento del Bloque 2, parcela 2.

PLANILLA DE MEDICIÓN: "Adela Maria"

N° de orden y fila	DAP (mm) *	Estado sanitario	Tercio del defecto
1	22,5		
2	25,0		
x 3	15,0		
4	15,0		
5	15,0		
6	22,5		
y 7	16,5		
8	15,0		
9	20,0		
10	23,0		
11	22,0		
12	22,0		
13	23,0		
14	22,0		
x 15	19,0		
16	11,0		
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			

Datos Generales	
Fecha:	23/09/10
Especie:	Alamo
Parcela:	2/2
Distanciamiento:	4,4

Croquis parcela:

Longitud: m

Longitud: m
Superficie de la parcela (m²):

ESCALAS	
ESTADO SANITARIO	
1	
2	
3	Enfermo
4	Muerto
5	Cortado

TERCIO DEL DEFECTO	
1	Inferior
2	Medio
3	Superior

Planilla de relevamiento del Bloque 3, parcela 2.

ANEXO II

Ubicación: Adelia María.

Especie: Álamos

Muestreo de árboles: **PIE del surco**

Ubicación del surco: **(Bloque 1)**

Muestras: Número de repetición

N° Árbol	Ubicación	Muestra	N° Orden	DAP (cm)	N° Árbol	Ubicación	Muestra	N° Orden	DAP (cm)
1	1	1	1	18,6	25	1	2	9	18,0
2	1	1	2	16,5	26	1	2	10	26,1
3	1	1	3	19,3	27	1	2	11	7,5
4	1	1	4	15,7	28	1	2	12	16,4
5	1	1	5	16,6	29	1	2	13	16,4
6	1	1	6	16,5	30	1	2	14	18,0
7	1	1	7	19,0	31	1	2	15	18,2
8	1	1	8	19,0	32	1	3	16	17,5
9	1	1	9	14,0	33	1	3	1	14,3
10	1	1	10	14,5	34	1	3	2	23,3
11	1	1	11	10,9	35	1	3	3	14,8
12	1	1	12	11,7	36	1	3	4	13,7
13	1	1	13	13,0	37	1	3	5	19,0
14	1	1	14	11,5	38	1	3	6	19,2
15	1	1	15	12,6	39	1	3	7	15,0
16	1	2	16	14,0	40	1	3	8	18,7
17	1	2	1	17,0	41	1	3	9	X
18	1	2	2	17,4	42	1	3	10	18,4
19	1	2	3	16,0	43	1	3	11	21,8
20	1	2	4	22,1	44	1	3	12	17,9
21	1	2	5	19,0	45	1	3	13	14,3
22	1	2	6	17,9	46	1	3	14	14,3
23	1	2	7	17,8	47	1	3	15	14,9
24	1	2	8	14,0	48	1	3	16	13,5

(x) Corresponde a un árbol muerto.

Datos estadísticos:

Promedio	16,4978723
Desviación estándar	3,31216259
CV	0,20076301
Error estándar	1,81993478
Varianza	11,2089084

Ubicación: Adelia María
 Especie: Álamos
 Muestreo de árboles: Zona Media del surco.
 Ubicación del surco: **(Bloque 2)**
 Muestras: Número de repetición.

N° Árbol	Ubicación	Muestra	N° Orden	DAP (cm)	N° Árbol	Ubicación	Muestra	N° Orden	DAP (cm)
49	2	1	1	21,6	73	2	2	9	14,9
50	2	1	2	19,8	74	2	2	10	9,0
51	2	1	3	19,1	75	2	2	11	21,8
52	2	1	4	18,3	76	2	2	12	20,0
53	2	1	5	18,6	77	2	2	13	16,8
54	2	1	6	22,5	78	2	2	14	14,4
55	2	1	7	23,7	79	2	2	15	19,3
56	2	1	8	22,5	80	2	3	16	24,8
57	2	1	9	19,9	81	2	3	1	22,5
58	2	1	10	20,2	82	2	3	2	23,0
59	2	1	11	17,4	83	2	3	3	24,0
60	2	1	12	15,1	84	2	3	4	18,0
61	2	1	13	20,1	85	2	3	5	18,5
62	2	1	14	21,8	86	2	3	6	22,6
63	2	1	15	19,1	87	2	3	7	16,8
64	2	2	16	20,5	88	2	3	8	15,6
65	2	2	1	23,2	89	2	3	9	20,2
66	2	2	2	18,5	90	2	3	10	21,0
67	2	2	3	20,4	91	2	3	11	22,8
68	2	2	4	10,3	92	2	3	12	22,6
69	2	2	5	24,0	93	2	3	13	22,0
70	2	2	6	18,3	94	2	3	14	22,0
71	2	2	7	18,0	95	2	3	15	19,0
72	2	2	8	18,7	96	2	3	16	17,9

Datos estadísticos:

Promedio	19,3979167
Desviación estándar	3,24611881
CV	0,16734368
Error estándar	1,80169887
Varianza	10,7614849

Ubicación: AdeliaMaría
 Especie: Álamos
 Muestreo de arboles: Zona cabeza del surco.
 Ubicación del surco: (Bloque 3).
 Muestras: Numero de repetición.

N° Árbol	Ubicación	Muestra	N° Orden	DAP(cm)	N° Árbol	Ubicación	Muestra	N° Orden	DAP(cm)
97	3	1	1	18,1	121	3	2	9	21,8
98	3	1	2	17,5	122	3	2	10	23,4
99	3	1	3	21,0	123	3	2	11	23,0
100	3	1	4	18,7	124	3	2	12	24,8
101	3	1	5	17,5	125	3	2	13	20,3
102	3	1	6	9,2	126	3	2	14	19,9
103	3	1	7	20,7	127	3	2	15	11,5
104	3	1	8	14,1	128	3	3	16	19,9
105	3	1	9	10,7	129	3	3	1	19,0
106	3	1	10	17,6	130	3	3	2	18,6
107	3	1	11	17,4	131	3	3	3	20,1
108	3	1	12	X	132	3	3	4	28,3
109	3	1	13	20,0	133	3	3	5	22,1
110	3	1	14	20,0	134	3	3	6	23,4
111	3	1	15	19,0	135	3	3	7	13,8
112	3	2	16	22,3	136	3	3	8	23,3
113	3	2	1	18,3	137	3	3	9	23,0
114	3	2	2	19,1	138	3	3	10	24,1
115	3	2	3	20,3	139	3	3	11	21,4
116	3	2	4	24,0	140	3	3	12	20,7
117	3	2	5	20,8	141	3	3	13	21,1
118	3	2	6	24,6	142	3	3	14	16,5
119	3	2	7	22,8	143	3	3	15	18,3
120	3	2	8	21,7	144	3	3	16	19,4

(X) Corresponde a un árbol muerto.

Datos estadísticos:

Promedio	19,873617
Desviación estándar	3,72187577
CV	0,18727722
Error estándar	1,92921636
Varianza	14,1534975

ANEXO III

Clasificación de los Álamos por sus clases diamétricas.

Bloque 1				Bloque 2				Bloque 3			
S	I	C	D	S	I	C	D	S	I	C	D
7,5- 12,15	12,15- 16,8	16,8- 21,45	21,45- 26,1	9- 12,75	12,75- 16,5	16,5- 20,5	20,5- 24	9,2- 14,3	14,3- 19,35	19,35- 24,45	24,45- 28,3
7,5	12,6	17,0	21,8	9,0	14,4	16,8	20,4	9,2	16,5	19,4	24,6
10,9	13,0	17,4	22,1	10,3	14,8	16,8	20,5	10,7	17,4	19,9	24,8
11,5	13,5	17,4	23,3		14,9	17,4	21,0	11,5	17,5	19,96	28,3
11,7	13,7	17,5	26,1		15,1	17,9	21,6	13,8	17,5	20,0	
	14,0	17,9			15,6	18,0	21,8	14,1	17,6	20,0	
	14,0	17,9				18,0	21,8		18,1	20,1	
	14,0	18,0				18,3	22,0		18,3	20,3	
	14,3	18,0				18,3	22,0		18,3	20,3	
	14,3	18,2				18,5	22,5		18,6	20,7	
	14,3	18,4				18,5	22,5		18,6	20,7	
	14,5	18,6				18,6	22,5		18,7	20,8	
	14,8	18,7				18,7	22,6		19,1	21,0	
	14,9	19,0				19,0	22,6		19,1	21,1	
	15,0	19,0				19,1	22,8			21,4	
	15,7	19,0				19,1	23,0			21,7	
	16,0	19,0				19,3	23,2			21,8	
	16,4	19,2				19,8	23,7			22,1	
	16,4	19,3				19,9	24,0			22,3	
	16,5					20,0	24,0			22,8	
	16,5					20,1				23,0	
	16,6					20,2				23,0	
						20,2				23,3	
										23,4	
										23,4	
										24,0	
										24,1	

Referencias
S: Suprimido - I: Intermedio - C: Codominante - D: Dominante
Clasificación de álamos por sus clases dasonométricas

ANEXO IV

Proporcionalidades.

Árbol								
gg			me			cc		
Anillos	Volumen (m ³)	% del total	Anillos	Volumen (m ³)	% del total	Anillos	Volumen (m ³)	% del total
1	0,001728963	0,005	1	0,001562353	0,008694	1	0,000699697	0,007
2	0,003397349	0,010	2	0,002316077	0,012888	2	0,001849722	0,019
3	0,009122943	0,027	3	0,00577289	0,032123	3	0,003923168	0,041
4	0,037439005	0,112	4	0,020534815	0,114265	4	0,009508967	0,099
5	0,080738035	0,242	5	0,043615189	0,242695	5	0,020530105	0,213
6	0,138662387	0,416	6	0,07834215	0,435932	6	0,037977515	0,395
7	0,211863532	0,635	7	0,116358391	0,647473	7	0,058060693	0,603
8	0,272720945	0,818	8	0,151113808	0,840868	8	0,079156783	0,822
9	0,333497385	1,000	9	0,179711693	1,000000	9	0,096254607	1,000

Proporcionalidades de árboles gg, me, cc.

ANEXO V

Estimación del volumen del total de árboles muestreados.

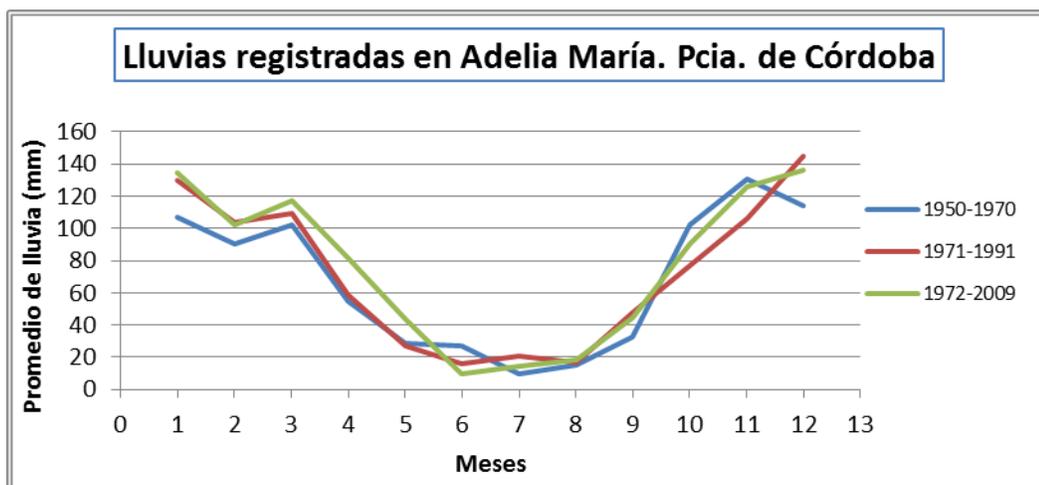
Número de árboles correspondiente al censo	DAP (cm)	Estimación del DAT (cm)	Volumen del cono (m ³)
1	18,6	20,032	0,164502926
2	16,5	17,995	0,13274822
3	19,3	20,711	0,175843833
4	15,7	17,219	0,121546052
5	16,6	18,092	0,134183206
6	16,5	17,995	0,13274822
7	19,0	20,42	0,170937159
8	19,0	20,42	0,170937159
9	14,0	15,57	0,099380741
10	14,5	16,055	0,10566852
11	10,9	12,563	0,064701109
12	11,7	13,339	0,072940973
13	13,0	14,6	0,087383758
14	11,5	13,145	0,070834721
15	12,6	14,212	0,082800966
16	14,0	15,57	0,099380741
17	17,0	18,48	0,140000291
18	17,4	18,868	0,145940806
19	16,0	17,51	0,125689008
20	22,1	23,427	0,224987485
21	19,0	20,42	0,170937159
22	17,9	19,353	0,153540022
23	17,4	18,868	0,145940806
24	14,0	15,57	0,099380741
25	18,0	19,45	0,155083008
26	26,1	27,307	0,305684196
27	7,5	9,265	0,035189723
28	16,4	17,898	0,131320949
29	16,4	17,898	0,131320949
30	18,0	19,45	0,155083008
31	18,2	19,644	0,158192124
32	17,5	18,965	0,147445221
33	14,3	15,861	0,103130265
34	23,3	24,591	0,24790049
35	14,8	16,346	0,10953376
36	13,7	15,279	0,095700645
37	19,0	20,42	0,170937159
38	19,2	20,614	0,174200561
39	15,0	16,54	0,112149158
40	18,7	20,129	0,166099913
41	x	-----	-----
42	18,4	19,838	0,161332096
43	21,8	23,136	0,219432806
44	17,9	19,353	0,153540022

45	14,3	15,861	0,103130265
46	14,3	15,861	0,103130265
47	14,9	16,443	0,110837601
48	13,5	15,085	0,09328582
49	21,6	22,942	0,215768258
50	19,8	21,196	0,184175911
51	19,1	20,517	0,172565003
52	18,3	19,741	0,159758253
53	18,6	20,032	0,164502926
54	22,5	23,815	0,232501724
55	23,7	24,979	0,255785017
56	22,5	23,815	0,232501724
57	19,9	21,293	0,18586547
58	20,2	21,584	0,190980431
59	17,4	18,868	0,145940806
60	15,1	16,637	0,113468428
61	20,1	21,487	0,18926773
62	21,8	23,136	0,219432806
63	19,1	20,517	0,172565003
64	20,5	21,875	0,196164822
65	23,2	24,494	0,245948644
66	18,5	19,935	0,162913654
67	20,4	21,778	0,194428977
68	10,3	11,981	0,058845213
69	24,0	25,27	0,261779413
70	18,3	19,741	0,159758253
71	18,0	19,45	0,155083008
72	18,7	20,129	0,166099913
73	14,9	16,443	0,110837601
74	9,0	10,72	0,04711016
75	21,8	23,136	0,219432806
76	20,0	21,39	0,187562743
77	16,8	18,286	0,13707632
78	14,4	15,958	0,104395536
79	19,3	20,711	0,175843833
80	14,8	16,346	0,10953376
81	22,5	23,815	0,232501724
82	23,0	24,3	0,242068095
83	24,0	25,27	0,261779413
84	18,0	19,45	0,155083008
85	18,5	19,935	0,162913654
86	22,6	23,912	0,234399569
87	16,8	18,286	0,13707632
88	15,6	17,122	0,120180496
89	20,2	21,584	0,190980431
90	21,0	22,36	0,20495976
91	22,8	24,106	0,238218403
92	22,6	23,912	0,234399569
93	22,0	23,33	0,223128211
94	22,0	23,33	0,223128211
95	19,0	20,42	0,170937159
96	17,9	19,353	0,153540022
97	18,1	19,547	0,156633709
98	17,5	18,965	0,147445221

99	21,0	22,36	0,20495976
100	18,7	20,129	0,166099913
101	17,5	18,965	0,147445221
102	9,2	10,914	0,048830695
103	20,7	22,069	0,199659654
104	14,1	15,667	0,100622868
105	10,7	12,369	0,062718286
106	17,6	19,062	0,148957349
107	17,4	18,868	0,145940806
108	X	-----	-----
109	20,0	21,39	0,187562743
110	20,0	21,39	0,187562743
111	18,6	20,032	0,164502926
112	22,3	23,621	0,228729175
113	18,3	19,741	0,159758253
114	19,1	20,517	0,172565003
115	20,3	21,681	0,192700847
116	24,0	25,27	0,261779413
117	20,8	22,166	0,201418642
118	24,6	25,852	0,273976491
119	22,8	24,106	0,238218403
120	21,7	23,039	0,217596675
121	21,8	23,136	0,219432806
122	23,4	24,688	0,24986005
123	23,0	24,3	0,242068095
124	24,8	26,046	0,278103899
125	20,3	21,681	0,192700847
126	19,9	21,3512	0,186882908
127	11,5	13,145	0,070834721
128	19,9	21,293	0,18586547
129	19,1	20,517	0,172565003
130	18,6	20,032	0,164502926
131	20,1	21,487	0,18926773
132	29,5	30,605	0,383981033
133	22,1	23,427	0,224987485
134	23,4	24,688	0,24986005
135	13,8	15,376	0,09691963
136	23,3	24,591	0,24790049
137	23,0	24,3	0,242068095
138	24,1	25,367	0,263792973
139	21,4	22,748	0,212134568
140	20,7	22,069	0,199659654
141	21,1	22,457	0,20674189
142	16,5	17,995	0,13274822
143	18,3	19,741	0,159758253
144	19,4	20,808	0,17749482

(x) Corresponde a un árbol muerto.

ANEXO VI



Lluvias acumuladas 1950-2009, INTA de Adelia María, Córdoba, Argentina.

ANEXO VII

ESTIMACIÓN DEL DAT. Con los dato del DAP se estimó el DAT para poder utilizar la fórmula del cono para estimar el volumen del total de la muestra.

Análisis de regresión lineal						
Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
at	3	0.971	0.988	5,30E-04	-21,27	-23,98
Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
Const	1,99	0,01	1,83	2,15	161,57	0,0039
DAP	0,97	6,00E-04	0,96	0,97	1620,57	0,0004
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	
Modelo	51,96	1	51,96	2626253,61	0,0004	
DAP	51,96	1	51,96	2626253,61	0,0004	
Error	2,00E-05	1	2,00E-05			
Total	51,96	2				

Análisis estadístico, estimación del DAT, para álamo *Populus x euroamericana* cv. I-214.

Fórmula	
$DAT = a + (b * DAP)$	
Valores	
a	B
1,99	0,97

Fórmula utilizada para la estimación del DAT.

ANEXO VIII

Se identificaron las alturas de los tres individuos y se planteo la altura promedio para el estudio.

Árbol	Altura	Promedio
gg	17,00	15,66
me	16,00	
cc	14,00	

Altura de los individuos muestreados, para álamo (*Populus x euroamericana* cv.I-214).

ANEXO IX

Edad	Volumen (m ³)	IMA (m ³)	ICA (m ³)	Edad (ic)
1		0	2,7464446	2
3	5,9133342	1,97111139	9,95485	4
5	25,82303167	5,16460633	21,26512	6
7	68,3532720	9,76475315	18,54456	8
9	105,4423894	11,715821		

Valores de ICA e IMA para los 9 años de edad, corresponden al Gráfico N° 9.