

Establecimiento de Sistemas Silvopastoriles: Efecto de la edad del material de multiplicación y manejo del pastoreo con bovinos

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Recursos Naturales*

2013

Edgardo Alberto Casaubon

Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de La Plata, 1979.

Lugar de trabajo: Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná (INTA)



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Pablo Luis Peri

Ingeniero Forestal (Universidad Nacional de La Plata)
PhD en Plant Science Agroforestry (Lincoln University)

Consejero de Estudios: **Patricia Susana Cornaglia**

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)
Master of Science (Universidad de Buenos Aires)

Consejero de Estudios: **Tomás Miguel Schlichter**

Ingeniero agrónomo (Universidad de Buenos Aires)
Doctor en Ciencias Forestales (Universidad Georg-August)

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Pablo Luis Peri

Ingeniero Forestal (Universidad Nacional de La Plata)
PhD en Plant Science Agroforestry (Lincoln University)

JURADO

Cristina Noemí Mazía

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Juan Janakiram Haridas Gowda

Ingeniero Forestal (Swedish University of Agricultural Sciences)
Master of Science in Forestry (Swedish University of Agricultural Sciences)
Doctor of Forestry in Animal Ecology (Swedish University of Agricultural Sciences)

Fecha de defensa de la tesis: 17 de Octubre de 2013

Dedico este trabajo de tesis a mis grandes amores

A Diana, mi esposa, por su paciencia y entrega

A Eduardo y Mary, por los nietos que me dieron

A Valentino y Almita, por ser la luz en el camino

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a INTA y a la FAUBA por haberme dado la oportunidad de cumplir un sueño.

A Pablo Peri, por ayudarme a concretarlo, facilitándome todo lo que estuvo a su alcance, guiándome y aportándome su experiencia y sabiduría de manera incondicional, y casi sin sentir la verdadera distancia física que nos separa.

A Patricia Cornaglia por su entrega, paciencia y alma docente, y por estar siempre ahí, ávida por conocer mis planteos y dificultades y por orientarme en la búsqueda de soluciones.

A Gerardo Cueto, por su permanente colaboración en las estadísticas de este y muchos otros trabajos.

Al jurado Dres Noemí Mazía y Juan Gowda por la lectura y crítica constructiva que le hicieron a los borradores de este trabajo.

A Tomás Schlichter y a Gerardo Mujica, por haber confiado en mí en esta etapa.

A Adrián González y a Guillermo Madoz, por su compañía, colaboración y estímulo para la concreción de esta tesis.

A Laura Gurini, Germán Corvalán, Carlos Carranza, Javier Alvarez, Laura Faustino, Mauro Fernández, Natalia Fracassi, Darío Ceballos, Clarisa Cámpora, Enrique Frusso y Sebastian Fernández, por sus aportes.

A Roberto Pellarín, Patricio Echarte, Hugo Rossi, Lucio Ortiz, Marcelo Martínez, Dante Díaz, Silvio Lovera, Walter Paternoste, Cristian Ortiz y Fabián Queipo, por su ayuda en la toma de datos a campo, preparación de muestras y en el trabajo de todos los días.

A Ana Laura Grassi, Rodrigo Da Cunha, Valeria Chamorro, Marcela Micuchi, Estela Pandiani y Analía Torres, el excelente equipo de administración de la EEA Delta del Paraná por facilitarme siempre las cosas.

Y muy especialmente a la familia Mendizábal por haberse arriesgado a ejecutar en gran escala mis observaciones, facilitarme el ganado vacuno para los ensayos, y a su empleado Luis Tesure por tanta y tan generosa y desinteresada colaboración en los trabajos y observaciones de campo.

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Publicaciones derivadas de la tesis

- Casaubon E.; Frusso E. y Madoz G. 2013. Establecimiento de sistemas silvopastoriles en el delta del Río Paraná: comportamiento de diferentes materiales de propagación de álamo. 4° Congreso Forestal Nacional y Latinoamericano. Iguazú. Misiones.
- Casaubón, E.; Peri P.; Cornaglia P.; Carou N. y Cueto G. 2012. Valor forrajero de hojas de álamo en el bajo delta del Río Paraná. Segundo Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero.
- Casaubón, E.; Peri P.; Cornaglia P. y Cueto G. 2012. Relación espaciamiento acumulación de biomasa en estaqueros de álamo para uso silvopastoril en el delta del Río Paraná. Segundo Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero.
- Casaubón, E.; Peri P.; Cornaglia P. y Cueto G. 2012. Caracterización del dosel y microambiente lumínico en estaqueros de álamo utilizando fotografía hemisférica. Segundo Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero.
- Casaubón, E.; Peri P.; Cornaglia P. y Cueto G. 2012. Productividad y distribución de biomasa en álamos de tres años de edad originados a partir de guías en un Sistema Silvopastoril del delta del Paraná. Segundo Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero.
- Casaubon, E.; Peri, P.; Cornaglia P.; González A. y Fernández, M. 2010. Establecimiento de sistemas silvopastoriles en el delta argentino: valor forrajero de pasturas y hojas de álamos. 1^{er} Congreso Internacional Agroforestal Patagónico. Coyhaique, Chile.
- Casaubon E.; Peri P.; Cornaglia P.; Cueto G.; y Gonzalez A. 2009. Comportamiento de guías de álamo en estaquero para la obtención de material adaptado a la instalación de sistemas silvopastoriles en el delta del río Paraná. 1° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones.
- Casaubon E.; Peri P. L.; Cornaglia P.; Cueto G.; Rossi C. y Gonzalez A. 2009. Establecimiento de sistemas silvopastoriles en el delta del río Paraná: Evaluación del daño animal. 1° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones.
- Casaubon E.; Cueto G.; González A.; Peri P. 2009. Establecimiento de sistemas silvopastoriles en el delta del río Paraná: comportamiento de diferentes materiales de propagación. 1° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones.
- Casaubon Edgardo and Adrian Gonzalez. 2008. Silvopastoral systems with poplar in the lower delta of the Paraná river (Argentina). Beijing. China.

ÍNDICE GENERAL

1. CAPÍTULO 1.	
Introducción.....	19
1.1. Introducción general.....	20
1.2.	
Antecedentes.....	21
1.2.1. El álamo y su cultivo.....	21
1.2.2. Ganadería y silvicultura tradicional del Delta del Paraná.....	22
1.2.3. Sistemas Silvopastoriles.....	23
1.2.4. Interacciones entre el componente arbóreo y la pastura.....	24
1.2.5. Interacciones entre el componente arbóreo y el ganado.....	25
1.2.6. Sistemas silvopastoriles con álamos en el Delta del Río Paraná...	26
1.2.7. Efecto del pastoreo sobre plantación de guías	27
1.3.1.Objetivos.....	27
1.3.2.	
Hipótesis.....	27
2. CAPÍTULO 2: Efecto de la disponibilidad de luz sobre la dimensión y calidad de guías de <i>P. deltoides</i> `Australiano 106/60´ para uso en sistemas Silvopastoriles.	28
2.1.Introducción	30
2.1.1Objetivo e hipótesis.....	31
2.2 Materiales y métodos.....	32
2.2.1 Características del área de estudio.....	32
2.2.2 Manejo del terreno.....	33
2.2.3 Diseño experimental.....	33
2.2.4 Plantación y manejo de los estaqueros.....	34
2.2.5 Mediciones dasométricas.....	34
2.2.6 Índice de sinuosidad (IS).....	36
2.2.7 Coeficiente de esbeltez o factor de estabilidad.....	36
2.2.8 Relación entre espaciamiento y acumulación de biomasa.....	36
2.2.9 Área Foliar (AF) y área foliar específica (AFE).....	36
2.2.10 Caracterización del dosel y microambiente lumínico mediante fotografía hemisférica.....	36
2.3.Resultados.....	38
2.3.1. Producción de guías de álamo.....	38
2.3.2. Índice de sinuosidad (IS).....	38
2.3.3. Coeficiente de esbeltez o factor de estabilidad.....	39
2.3.4. Relación espaciamiento acumulación de biomasa.....	40
2.3.5. Área foliar (AF) y área foliar específica (AFE).....	41

2.3.6. Caracterización del dosel y microambiente lumínico utilizando fotografía hemisférica.....	43
2.4. Discusión.....	46
2.5. Conclusiones.....	48
3. CAPÍTULO 3: Efecto del pastoreo sobre guías de álamo de distintas edades en sistema silvopastoriles.....	49
3.1. Introducción.....	50
3.1.1. Objetivo e hipótesis.....	50
3.2. Materiales y métodos.....	51
3.2.1. Sitio de plantación.....	51
3.2.2 Preparación del terreno y labores culturales previas a la plantación.....	51
3.2.3 Manejo del agua.....	51
3.2.4 Origen de los materiales de multiplicación.....	52
3.2.5 Diseño experimental e instalación del ensayo.....	52
3.2.6 Labores culturales post plantación.....	52
3.2.7 Características de los suelos.....	53
3.2.8 Mediciones biométricas.....	53
3.2.9 Evaluación del impacto del ganado sobre las guías (G1, G2 y G3)....	54
3.2.10 Muestreo de hojas de <i>Populus deltoides</i>	54
3.2.11 Biomasa en árboles.....	54
3.2.11.1 Biomasa aérea en árboles.....	54
3.2.11.2. Biomasa subterránea (raíces).....	55
3.2.13 Biomasa aérea del sotobosque.....	56
3.2.14 Determinación de las especies de interés forrajero.....	57
3.2.15 Características nutritivas de pasturas naturales.....	57
3.2.16 Calidad forrajera de las hojas de álamo vs. pastizal natural en la temporada estival.....	57
3.3. Resultados.....	57
3.3.1. Biometría.....	57
3.3.2. Evaluación del impacto del ganado sobre las guías.....	58
3.3.3. Biomasa aérea de árboles.....	61
3.3.4. Valor forrajero de las hojas de álamo.....	62
3.3.5. Biomasa aérea en el sotobosque.....	64
3.3.6. Composición relativa y diversidad del pastizal.....	65
3.3.7. Calidad del pastizal.....	67
3.3.8. Disponibilidad de proteína bruta en las hojas de álamo vs. pastizal natural en la temporada estival.....	69

3.4. Discusión.....	70
3.5. Conclusiones.....	74
4 CAPÍTULO 4: Discusión general y conclusiones.....	75
4.1. Discusión general.....	76
4.2. Aplicabilidad de los resultados obtenidos en el transcurso del desarrollo del trabajo de Tesis.....	78
4.3. Propuesta de una nueva silvicultura adaptada a los sistemas Silvopastoriles de <i>Populus deltoides</i> en el bajo Delta.....	81
4.4. Líneas futuras de investigación.....	83
4.5. Conclusiones.....	83
5 BIBLIOGRAFIA.....	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Resultados obtenidos en los análisis físico-químicos de las muestras de suelos tomados en el ensayo.....	32
Tabla 2.2: Diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (Ht) promedio de guías de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´ creciendo a diferentes densidades en estaquero durante tres años. Letras diferentes indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ ($p=0,0001$).....	37
Tabla 2.3: Medias ajustadas del Índice de sinuosidad y errores estándares para cada distanciamiento. LSD Fisher ($\alpha=0,05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).....	38
Tabla 2.4: Medias ajustadas del Coeficiente de esbeltez y errores estándares para la interacción distancia*año. LSD Fisher ($\alpha=0,05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).....	39
Tabla 2.5: Principales variables dasométricas y biomasa promedio (\pm desvío estándar) expresadas en peso seco (kg) de plantas de tres años de edad en estaqueros de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´, discriminado por compartimiento y peso seco total, para los cuatros distanciamientos de plantación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).....	40
Tabla 2.6: Valores de productividad de biomasa por hectárea año en cada distanciamiento de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´ al tercer año de plantación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).	41
Tabla 2.7: Media (desvío estándar) de los parámetros estructurales y microambientales obtenidos en fotos hemisféricas tomadas a 2, 5 y 8 m de altura del dosel, en marzo de 2009, en cada distanciamiento ensayado en parcelas de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´.....	43
Tabla 2.8: Media (desvío estándar) de los parámetros estructurales y microambientales obtenidos en fotos hemisféricas tomadas marzo de 2009, en los diferentes distanciamientos de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´, en cada altura de medición.....	44
Tabla 2.9: Coeficiente de correlación de a pares y sus probabilidades asociadas entre variables productivas, dasométricas, morfológicas y microambientales promedio de los 4 distanciamientos de plantación analizados en los estaqueros de <i>Populus deltoides</i> “Australiano 106/60” al tercer año de edad de plantación. En la tabla solo figuran las correlaciones estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).....	45
Tabla 3.1: Descripción de las variables diámetro (DAP) y altura total (Ht) registradas en guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad <i>P. deltoides</i> “Australiano 106/60” en el momento de plantación.....	52
Tabla 3.2: Características físico-químicas de suelos (n=6) y sus desvíos estándar correspondientes al ensayo realizado en un área endicada de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).....	53
Tabla 3.3: Principales parámetros dasométricos promedio (\pm desvío estándar)	

obtenidos de las guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad de <i>Populus deltooides</i> `Australiano 106/60´, al tercer año de crecimiento desde la plantación.....	58
Tabla 3.4: Porcentaje y tipo de daño ocasionado por el ganado vacuno en árboles de <i>Populus deltooides</i> `Australiano 106/60´ originados de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad en los dos ingresos de animales a las parcelas del ensayo silvopastoril.....	59
Tabla 3.5: Peso seco (kg.) total y por compartimiento (\pm Desvío estándar) de árboles promedio de <i>Populus deltooides</i> `Australiano 106/60´ de tres años de edad, originados de G1, G2 y G3, que no fueron dañados por el ganado vacuno. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) entre tratamientos para un mismo componente.....	62
Tabla 3.6: Peso seco total de raíz, tallo y la relación Raíz/Tallo (\pm desvío estándar) de árboles de <i>Populus deltooides</i> `Australiano 106/60´ de tres años de edad, provenientes de guías de uno (G1), dos (G2) y tres años de edad (G3). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).....	62
Tabla 3.7: Valores promedios (\pm desvío estándar) de materia seca (MS), fibra detergente ácido (FDA), digestibilidad estimada (DE), fibra detergente neutro (FDN) y proteína bruta (PB) expresados en porcentaje (%) en hojas de <i>Populus deltooides</i> `Australiano 106/60´ originados de guías de uno, dos y tres años durante el período vegetativo 2009/10. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre meses.....	63
Tabla 3.8: Concentración de macrominerales (Ca, Mg, K y P) (\pm desvío estándar) en hojas de <i>Populus deltooides</i> `Australiano 106/60´ durante el período vegetativo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre meses.....	63
Tabla 3.9: Composición relativa de la vegetación natural espontánea y del suelo desnudo y pasto seco antes y después del ingreso de los animales al SSP de <i>Populus deltooides</i> “Australiano 106/60”.....	65
Tabla 3.10: Valores de riqueza promedio, Índice de Shannon e Índice de Jaccard antes del ingreso del ganado, inmediatamente después del egreso, un año más tarde y después de 18 meses de haber ingresado el ganado vacuno al ensayo silvopastoril de <i>Populus deltooides</i> “Australiano 106/60”.....	66
Tabla 3.11: Composición relativa de la vegetación espontánea en las parcelas dañadas (n=3) y no dañadas (n=3) por el ganado vacuno en un SSP de <i>Populus deltooides</i> “Australiano 106/60” en el Delta bonaerense del río Paraná.....	66
Tabla 3.12: Valores de MS, PB, FDA, FDN y DE en el pastizal natural creciendo en un SSP de <i>Populus deltooides</i> “Australiano 106/60” en el Delta bonaerense del Río Paraná.....	68
Tabla 3.13: Grado de pastoreo del ganado vacuno.....	70
Tabla 3.14: Comparación entre el valor de proteína bruta (PB) de las hojas de álamo vs. el pastizal natural en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre. Letras distintas entre tipos de forraje y temporadas de muestreo indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).....	69

Tabla 3.15: Comparación entre el valor de digestibilidad estimada (DE) de las hojas de álamo vs. el pastizal natural en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre. Letras distintas entre tipos de forraje y temporadas de muestreo indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).....70

INDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1: Índice de sinuosidad (\pm desvío estándar) en cada distanciamiento de plantación de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´ al tercer año de edad del estaquero. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).....38
- Figura 2.2: Porcentaje de raíz (barras negras) y de tallo (barras grises) en estaqueros de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´ plantados a diferentes distancias.....40
- Figura 2.3: Área foliar (\pm desvío estándar) en guías de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´, de tres años de edad, a diferentes alturas de la copa, en las cuatro distancias de plantación. Letras distintas dentro de los cuadros indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).....42
- Figura 2.4: Peso seco de las hojas (\pm desvío estándar) en guías de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´ de tres años de edad, a diferentes alturas de la copa. Letras distintas dentro de los cuadros indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).....42
- Figura 2.5: Área foliar específica de las hojas (\pm desvío estándar) en guías de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´ de tres años de edad, a diferentes alturas de la copa. Letras distintas dentro de los cuadros indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).....43
- Figura 2.6: Duración promedio de los Sunflecks registrados a 2, 5 y 8 m de altura dentro de las parcelas y sus desvíos estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p = 0,05$).....44
- Figura 3.1: Variación del DAP medio de las plantas de *Populus deltoides* “Australiano 106/60” originadas de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad con corteza (barras negras) y descortezadas por el ganado vacuno (barras blancas).....60
- Figura 3.2: Porcentaje de daño en árboles de *Populus deltoides* “Australiano 106/60” originados de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad a los 18 meses de plantación después del pastoreo del ganado vacuno en un sistema silvopastoril en el Delta del río Paraná.....61
- Figura 3.3: Productividad mensual promedio ($n=6$) (kg de MS/ha) del rebrote del pastizal natural durante septiembre de 2008 y agosto de 2009, en un SSP de *Populus deltoides* “Australiano 106/60” en el bajo delta bonaerense del río Paraná.....64
- Figura 3.4: Valores promedio de PB (barras negras), FDA (barras gris oscuro), DE (barras gris claro), FDN (barras blancas) en una pastura natural de un SSP de *Populus deltoides* “Australiano 106/60” del bajo Delta del río Paraná en las cuatro estaciones del año.....68

INDICE DE FOTOS

Foto 2.1: Etapa de brotación de estacas en el ensayo de cuatro diferentes distancias de plantación en estaquero de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´, para producción de guías para instalar sistemas silvopastoriles.....	34
Foto 2.2: Ensayo de diferentes distancias de plantación (0,6x0,6; 0,8x0,8; 1x1 y 1,2x1,2 m) para producción de guías de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´.....	34
Foto 2.3: Toma de fotografía hemisférica utilizando una lente hemisférica “Fisheye” en ensayo de diferentes densidades de estaqueros de <i>Populus deltoides</i> `106/60´, al tercer año de plantación.....	36
Foto 3.1: Extracción de raíz de árbol de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´, de tres años de edad, originado de guía.....	56
Foto 3.2: Ingreso de vaquillonas Aberdeen Angus de 18 meses de edad al ensayo de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´.....	58
Foto 3.3 y 3.4: Diferentes tipos de daño de ganado vacuno de cría en ramas de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´, en un ensayo SSP en el Bajo Delta del Río Paraná.....	59
Fotos 3.5; 3.6 y 3.7: Daños producido por el ganado vacuno de cría de raza Aberdeen Angus, en la corteza de árboles de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´ originados de guías de uno (G1), dos (2) y tres (3) años de edad, a partir de 10 días de haber ingresado al ensayo silvopastoril.....	62
Foto 3.8: Vaquillonas comiendo hojas y ramas tiernas de <i>Populus deltoides</i> `106/60´ producto de una poda sistemática del fuste efectuada en primavera.....	64
Foto 3.9: Toma de muestras de la vegetación natural que crece espontáneamente en un ensayo de guías de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´, en el Bajo Delta del Río Paraná.....	67
Foto 4.1: Plantación de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 106/60´, de 5 años de edad, de propiedad de la firma EDERRA S.A. originada de guías de 2 años de edad, en el Bajo Delta del Río Paraná.....	81
Foto 4.2: Sistema silvopastoril de <i>Populus deltoides</i> `Australiano 129/60´ de 6 años de edad instalado de guías de dos años de edad (G2) en el bajo Delta del Río Paraná.	82

ABREVIATURAS

a: número de especies compartidas.

A: biomasa de tallo y hoja.

AB: área basal.

AF: área foliar.

AFE: área foliar específica.

ANOVA: análisis de la varianza.

b: número de especies en cada muestra.

c: número de especies en casa muestra.

Ca: calcio.

CIC: capacidad de intercambio catiónico.

C/N: relación carbono nitrógeno.

CO: carbono orgánico.

Cm: centímetro.

°C: grados Celcius.

DAP: diámetro a la altura del pecho.

DBCA: diseño en bloques completos aleatorizados.

DE: digestibilidad estimada.

DSF: proporción de la radiación solar directa hacia el suelo forestal.

E: estacas.

FAO: Food and Agricultural Organization of the United Nations.

FDA: fibra detergente ácido.

FDN: fibra detergente neutro.

G1: guía de un año de edad.

G2: guía de dos años de edad.

G3: guía de tres años de edad.

GndCover: estima la fracción de suelo cubierta por el dosel forestal.

g: gramo.

GSF: proporción de la radiación solar total (directa e indirecta) hacia el suelo forestal.

Ha: hectárea.

Ht: altura total.

IAF: índice de área foliar.

S : número de especies (riqueza de especies)

p_i : proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie)

n_i : número de individuos de la especie i

N : número de todos los individuos de todas las especies.

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

IS: índice de sinuosidad.

ISF: proporción de la radiación solar indirecta o difusa hacia el suelo forestal.

K: potasio.

Kg: kilogramo.

LAI dev: mide la uniformidad de la distribución de cielo visible en el dosel o uniformidad de la distribución de la luz que llega al suelo.

LAI efvo: índice de área foliar.

m: metros.

mm: milímetros.

m²: metro cuadrado.

Mg: magnesio.

MMGL: modelo lineal general mixto.

MO: materia orgánica.

MS: materia seca.

MS/ha: materia seca por hectárea.

n: número de parcelas muestreadas.

Na: sodio.

NO: Nitrógeno orgánico.

P: fósforo.

PAR: radiación fotosintéticamente activa total.

PB: proteína bruta.

Ph: concentración de iones hidrógeno.

%: porcentaje.

PSI: Porcentaje de sodio de intercambio.

SSP: sistemas silvopastoriles.

Sunflex: destellos de sol. Cantidad de pequeñas discontinuidades que existen en el dosel forestal.

Vs.: versus.

VisSky: fracción de cielo visible, porción de cielo no obstruido.

Resumen

Establecimiento de sistemas silvopastoriles: Efecto de la edad del material de multiplicación y manejo del pastoreo con bovinos

El establecimiento de un sistema silvopastoril (SSP) en plantaciones de álamo (*Populus deltoides* `Australiano 106/60`) requiere de nuevas estrategias de manejo. En este contexto, la combinación del tipo de material de multiplicación utilizado y su palatabilidad pueden resultar determinantes del éxito de la instalación del sistema. El objetivo general del estudio fue generar una nueva tecnología para la instalación de un SSP con álamos orientado a la producción de madera para múltiples destinos. El primer objetivo consistió en evaluar los cambios que se producen en diferentes distancias de plantación sobre la dimensión y características morfológicas de las guías de álamo, materiales de multiplicación potencialmente aptos para instalar un SSP, y el segundo, determinar el efecto del tamaño y/o edad de las guías sobre el crecimiento del componente arbóreo y la sensibilidad al daño de las mismas frente al pastoreo de ganado bovino en un SSP de álamo. Los resultados indican que los mayores distanciamientos ensayados produjeron las mejores guías de uno, dos y tres años de edad, con mayor DAP, altura total, biomasa aérea, rectitud, conicidad y estabilidad del fuste. Se determinó además que es posible acelerar el ingreso del ganado de cría al SSP utilizando guías con un DAP igual ó mayor a los 6 cm, con una respuesta positiva durante los primeros años de plantación. Las hojas y ramitas tiernas de álamo, productos de una poda de primavera, constituyeron por su buena disponibilidad de PB, P y K y su DE un buen complemento de la dieta animal. Se concluye finalmente que, utilizando guías de álamo como material de multiplicación, es posible producir anticipadamente madera de álamo para usos múltiples, pasturas naturales espontáneas y carne vacuna en los SSP del bajo Delta del Río Paraná.

Palabras clave: *Populus deltoides*, silvopastoril, instalación, comportamiento animal.

Abstract

Establishment of Silvopastures: Effect of the Age of Multiplication Material and of Cattle Grazing Management

The establishment of silvopastoral systems (SSP) in poplar (*Populus deltoides* 'Australiano 106/60') plantations requires new management strategies. In this context, the combination of the type of multiplication material and its palatability may determine the success of SSP establishment. The aim of the trial was to create a new technology for the establishment of a SSP with poplar for cattle and multiple uses wood production. The first objective was to assess changes in size and morphological characteristics for poplar pole cuttings grown at different plantation spacing in a nursery, since such multiplication materials might be suitable for SSP establishment. The second objective was to determine the effect of pole cutting size (or age) on tree growth and sensitivity to damage caused by cattle browsing on a poplar SSP. In nursery, results showed that the production of multiplication material from larger spacing resulted in better one-, two- and three-year old pole cuttings, with higher DBH, total height, aerial biomass, straightness, conicity, and shaft stability. In the poplar SSP, it was determined that the use of pole cuttings with a DBH equal or greater than 6 cm, allowed the entry of cattle after the first years of plantation. Poplar leaves and tender branches obtained after spring pruning provided a good supplement to animal diet due to its higher values of PB, P and K and digestibility. We concluded that the use of poplar pole cuttings as multiplication material promotes the growth of natural pastures and early beef production in poplar SSP on the Lower Delta of the Paraná River.

Key words: *Populus deltoides*, silvopasture, establishment, animal behaviour.

CAPITULO I : Introducción

1.1 INTRODUCCION GENERAL

El silvopastoreo como práctica agroforestal está específicamente diseñado y administrado para la producción de árboles, forraje y ganado (Nair, 1989), en un mismo sitio, generando beneficios económicos, productivos y protegiendo el capital ecológico (Pattanayak *et al.*, 2003 y Montagnini, 2008). Los árboles se manejan para obtener madera de alta calidad a la vez que proveen sombra y albergue al ganado y al forraje (Klopfenstein *et al.*, 1997; Gakis *et al.*, 2004). Esta combinación conforma una interacción beneficiosa que produce un sistema práctico y económico (Clason, 1998). Los Sistemas Silvopastoriles (SSP) con álamos orientados a la producción de madera de calidad, resultan opciones compatibles en diferentes países (Vita, 1977; Singh *et al.*, 1993; Sanhueza, 1998; Addlestone *et al.* 1999; Sibbald *et al.*, 2001; Burgues, 2004; FAO, 2004; Thevesthasan *et al.*, 2004; Sotomayor *et al.*, 2004; Suárez, 2004; Clavijo *et al.*, 2005; Daversa, 2005; Shengzuo *et al.*, 2005; Shuren y Stanton, 2005; Douglas, 2006; Yangz, 2006). De hecho, el 65% de la superficie mundial cultivada con álamos (*Populus spp.*) se destina a la agrosilvicultura (Ball *et al.*, 2005).

El establecimiento de un SSP requiere estrategias de manejo no utilizadas en las monoculturas tradicionales. Si el SSP se maneja correctamente, la producción de cada componente puede superar a una producción forestal o ganadera pura (Fike *et al.*, 2004). La combinación del tamaño de árboles y la palatabilidad de los mismos puede determinar el éxito en la instalación del sistema, por este motivo las especies forestales palatables requieren mayor protección que las no palatables (Eason *et al.*, 1996; McAdams, 2003). En este sentido, el hecho de que los álamos sean especies muy palatables para el ganado (Lefroy *et al.*, 1992; Taranaki, 2001) plantea una problemática en la instalación de un SSP, que se refleja en un incremento en el costo de establecimiento (Carvalho *et al.*, 2003). Habitualmente, para establecer una plantación de álamos en Argentina, se utiliza estacas (trozo de guía de 1,5 cm de diámetro, 40-80 cm de largo y un año de edad) como material de propagación, y el pastoreo del ganado se inicia al 4° ó 5° año de edad de las plantas, teniendo en cuenta la palatabilidad de las hojas de álamo y el diámetro a la altura del pecho (DAP) que alcanzan los árboles a esa edad (Sanhueza, 1998; Suárez, 2006). En este trabajo se evaluará la plantación de guías (rebrote de cepa) sin raíz, de diferente edad con el fin de adelantar el uso ganadero. Los diámetros y alturas totales de las guías de *P. deltoides* de uno, dos y tres años de edad (entre 2 y 8 cm de DAP y 4,5 y 12 m de Ht) (Casaubón, 2003) y su facilidad de enraizamiento, permiten plantear la posibilidad de que las mismas pueden acelerar el ingreso de ganado vacuno al SSP, sin necesidad de utilizar una protección individual en cada árbol, minimizando así los costos de instalación del sistema. En este sentido, el conocimiento sobre el establecimiento de SSP es muy limitado (Peri, 2006).

Otro desafío consiste en generar una nueva tecnología para la instalación de un SSP orientado a la producción de madera de álamo de calidad para múltiples destinos. La silvicultura disponible actualmente en Argentina orientada a obtener materiales de multiplicación, para producir madera de álamo para debobinado y aserrado en SSP, no ha sido suficientemente investigada. Los viveros están diseñados para producir metros lineales de guías, que proporcionarán posteriormente estacas, y no m³ de guías individuales como se propone en este trabajo. En consecuencia, un elevado porcentaje de las guías que se utilizan actualmente como material de plantación presentan a menudo por su tamaño, dificultades de prendimiento, un desarrollo volumétrico reducido y heterogéneo, defectos de forma problemas sanitarios, que afectan la calidad y el rendimiento de las plantaciones.

1.2. ANTECEDENTES

Las especies del género *Populus* han sido ampliamente estudiadas para su empleo en sistemas de silvicultura intensiva debido a su rápido crecimiento, facilidad de propagación, amplia plasticidad y transformación en una gran variedad de productos (Dickmann *et al.*, 1996). Son especies dioicas en las que las hibridaciones intra e interespecíficas se producen con facilidad en la naturaleza o bien de forma controlada en programas de selección y mejora (Corcuera *et al.*, 2005).

1.2.1 El álamo y su cultivo: Según FAO (2008) la superficie mundial de álamos destinada a agroforestería en el año 2008 fue de 2,6 millones de hectáreas; alrededor de 70 países cultivan álamos en plantaciones y como sistemas agroforestales. La Federación Rusa, Canadá y los Estados Unidos de América son los países con mayores superficies de bosques naturales de álamos, mientras que China, India y Pakistán cuentan con las plantaciones más extensas. El género *Populus*, por su sistema de copa y tipo de hoja constituye una especie interesante para su utilización en SSP, ya que la intensidad de luz que llega al sotobosque es mayor que en otras especies de coníferas y latifoliadas, permitiendo que en otoño y parte de la primavera la pradera pueda crecer sin grandes interferencias (Sotomayor, 2009). En Argentina, la superficie cultivada con álamos bajo sistemas agroforestales es de 23.500 ha ocupando el tercer lugar en importancia en el mundo (FAO, 2008).

Los álamos suministran una amplia gama de productos madereros (tales como madera para debobinar o desenrollar, pasta y papel, tableros reconstituidos, contrachapados, chapas, madera aserrada, jaulas de embalaje, pallets y muebles) y no madereros (forraje, leña) y servicios (abrigo, sombra y protección del suelo, del agua, de los cultivos, del ganado y de las viviendas). Desempeñan además un rol importante en la fitoremediación de tierras degradadas, la rehabilitación de ecosistemas frágiles (lucha contra la desertificación) y la restauración del paisaje forestal. A menudo se integran con la agricultura, la horticultura, la vitivinicultura y la apicultura y por su rápido crecimiento en la captura de carbono y como pozos de carbono pueden ser eficaces en la adaptación y en la mitigación de los efectos del cambio climático (Wang *et al.*, 1999; Schulz *et al.*, 2000; Isebrands y Karnosky, 2001; Pilipovic *et al.*, 2006). Muchas especies de álamo se adaptan a las más diversas condiciones ambientales, son fáciles de cultivar y constituyen un componente muy importante de los sistemas agroforestales (Zsuffa *et al.*, 1996; Dickmann, 2001; Ball *et al.*, 2005). El 49% de la superficie total plantada con estas especies corresponden a sistemas agroforestales y árboles fuera de bosques (FAO, 2008).

Los principales cultivares de *Populus* que se plantan actualmente en Argentina corresponden a diferentes clones de *Populus deltoides* y *P. x canadensis* “Conti 12” (FAO, 2008). El cultivar *Populus deltoides* “Australiano 106/60” es originario de Texas (EEUU) y fue introducido al Delta del Paraná desde Australia por la Compañía General de Fósforos Sud Americana SA. Es un clon de sexo femenino, con muy buenos rendimientos volumétricos, resistente a roya y a cancrrosis, es uno de los clones más plantados y es el que se utilizó en el presente estudio.

En las regiones áridas de Mendoza y el Alto Valle del Río Negro (Neuquén y Río Negro), además de las provincias de La Pampa y Santiago del Estero, los álamos son cultivados en un ambiente que se caracteriza por un déficit hídrico y un suelo suelto de textura arenosa, con provisión de agua en forma de riego (Comisión Nacional del

Álamo, 2000). En éstas áreas se ha desarrollado una actividad foresto-industrial que atiende la demanda de cajonería y materiales de empaque. Por ejemplo, en Mendoza el 50% de la producción actual de madera se destina a aserrado y cajonería y el resto a la producción de tableros aglomerados (ocasionalmente se registra un 10% destinado a pastas que es consumido en Buenos Aires) (Comisión Nacional del Álamo, 2000). En el Alto Valle el 90% de la madera rolliza producida se destina a la industria del aserrío (principalmente para cajonería de empaque de frutas) y el 10% restante se destina al debobinado (Comisión Nacional del Álamo, 2000).

1.2.2 Ganadería y Silvicultura tradicional del Delta del Paraná: En el año 1894 ya existían alrededor de 6000 cabezas de ganado en la región (Kandus *et al.*, 2006), mientras que el Censo Nacional Agropecuario de 1969 registró para todo el Delta 104.245 vacunos (INTA, 1973). Actualmente se calculan en 26.000 las cabezas de ganado vacuno que pastorean en la zona núcleo del Delta Bonaerense (Fernández, 2012. Comunicación personal). En el año 2007 se estimó que 1.000.000 de cabezas de ganado pastoreaban la región, debido al desplazamiento del ganado vacuno hacia el delta a causa de la expansión de cultivos agrícolas, en especial de soja (*Glicine* particularidades en cuanto a niveles de riesgo de inundaciones, tipo y oferta forrajera del pastizal, características fisiográficas, etc. Los principales sistemas productivos son la cría, la veranada, la invernada larga y el ciclo completo. Las proporciones de estos sistemas están muy ligados a las características medioambientales del humedal y socioeconómicas del productor (PTR, 2009-011). En general, la cría es la actividad ganadera principal porque requiere una dieta de mantenimiento más que de engorde, es una categoría animal más pacífica, camina menos y esto constituye una ventaja para su manejo.

En la cadena de la carne bovina en el Delta del Paraná los sistemas productivos predominantes son: en el Delta Inferior (350.000 has) la cría y el ciclo completo y en los Deltas medio y superior (1.400.000 has) la veranada e invernada larga. Las proporciones de estos sistemas están muy ligados a las características medioambientales del humedal y socioeconómicas del productor (PTR, 2009-011). En el Delta Inferior, también denominado Bajo Delta (Bonfils, 1962), la zona núcleo forestal (con alrededor de 60.000 has), posee una superficie endicada y con aptitud para la implementación de SSP con álamos estimada en 48.000 has (Gaute, 2007).

Se encuentra conformada por parte de los municipios de Campana, San Fernando y Zárate; en los dos primeros predomina la actividad de cría y en el segundo el ciclo completo. Las razas británicas predominan en la zona, especialmente la Aberdeen Angus y Hereford (Fernández, 2012. Comunicación personal). La experiencia de engordar novillos (invernada) en SSP, dada la característica del forraje espontáneo de la región hace que se alargue el ciclo de terminación de los mismos. La producción ganadera se estima en 60 a 100 kg./ha y la carga animal en 0,4-0,5 EV/ha (Peri, 2012).

Los manejos que se realizan habitualmente en las plantaciones de álamo del Delta producen madera para aserrado y/o debobinado y en menor proporción para triturar y pulpa para papel. Las plantaciones de álamo se instalan generalmente utilizando estacas de 0,70 m de largo y de uno a dos años de edad sin raíz como material de multiplicación, a densidades que varían entre 500 y 800 plantas por hectárea. Las estacas se hincan en el terreno 0,40 m de profundidad. En una buena parte de los casos, se aplican configuraciones de plantación rectangulares (3x4, 6x2 y 6x3 m). Los estaqueros que proporcionan estos materiales no siempre se instalan en los mejores

sitios de plantación del Delta que son los suelos de albardón, semialbardón o de bañado endicado, de textura franca gruesa, moderadamente bien drenados y profundos, con un pH ligeramente ácido a neutro.

Los productores podan y ralean sus árboles para incrementar la calidad del producto y el volumen individual de cada planta. Es habitual observar en la zona núcleo forestal del bajo Delta bonaerense una gran homogeneidad en el paisaje, con grandes rodales de álamo de un mismo clon, lo cual aumenta la probabilidad de un ataque de plagas y enfermedades. La superficie forestada con Salicáceas en el bajo Delta se estima en 80.000 has (el 75% se encuentra bajo manejo), de las cuales 14.000 has corresponden a álamo, con rendimientos promedios entre 20-25 m³/ha/año, y las restantes de sauces (MAGyP, 2010). Los mayores rendimientos en *Populus deltoides* se obtienen en sitios altos de albardón, caídas de albardón y en suelos bajos endicados y sistematizados, profundos y con un buen manejo del agua (Casaubón *et al.*, 2004). La superficie endicada, estimada en 48000 has, es la que posee mayor aptitud para la implementación de SSP con álamos en el bajo Delta del Río Paraná, para ello es imprescindible realizar un manejo específico orientado a la producción de madera para usos múltiples, pastos y carne (Casaubón y González, 2008).

1.2.3 Sistemas Silvopastoriles: Los sistemas silvopastoriles (SSP) como práctica agroforestal, están específicamente diseñados y administrados para producir árboles, forraje y ganado (Nair, 1989) interactuando sus componentes en forma dinámica en una misma unidad de superficie (Mead, 2009), y diseñados para favorecer las interacciones ecológicas beneficiosas que se manifiestan en un incremento de la producción, en la eficiencia en el uso de los recursos, y en aspectos del medio ambiente (Peri, 2009). El establecimiento de un SSP puede resultar más favorable que otras modalidades de uso de la tierra (Percival, *et al.*, 1984; Von Maydell, 1985; Knowles, 1988) si logra un adecuado balance entre productividad, estabilidad, diversidad y autorregulación del ambiente (ICRAF, 1989; Peri, 2009).

El pastoreo bajo plantaciones forestales es una alternativa que resulta técnica y financieramente factible, gracias a la generación de ingresos tempranos, antes del turno de corta forestal y a la reducción de los costos de control de malezas durante los primeros años (Somarriba, 1997; Clason, 1998). En una plantación destinada a producir madera de aserrío los productores pueden diferir en sus sistemas de manejo dándoles un enfoque “más forestal” utilizando una baja carga animal para evitar daños en los árboles y compactación del suelo, mientras que un enfoque “más ganadero” puede traducirse en el manejo de una densidad de árboles por debajo de lo usado normalmente en plantaciones puramente forestales (ej. raleos tempranos para mantener la productividad de la pastura), un mejor ajuste de la capacidad de carga y una mayor tolerancia al daño o pérdida del crecimiento de los árboles (Somarriba, 1997).

En el país, la generación de información sobre SSP se ha incrementado durante los últimos 15 años brindando nuevas herramientas para su instalación y manejo. El mayor desarrollo en el conocimiento de los SSP se dio en la Patagonia (32%), Parque Chaqueño (27%), Mesopotamia (22%), Delta (11%) y en el Monte-Espinal, Región Pampeana y Selva Tucumano Boliviana (7%); un 97,93% en bosques nativos y un 2,07% en bosques cultivados (Peri, 2012)”. Entre las causas que originan su muy amplia difusión se encuentran: la expansión agrícola que desplaza a la ganadería hacia zonas boscosas nativas o implantadas y la necesidad de diversificar y mejorar en términos económicos la productividad foresto-agropecuaria en regiones con aptitud forestal ó

ganadera (Peri, 2006). Según Lacorte y Esquivel (2009), el sector ganadero por infraestructura y capitalización es el más propenso a adoptar los SSP, el sector forestal lo hace para controlar malezas y disminuir los riesgos de incendios forestales y de pastizales, y los pequeños productores por el flujo de caja y para diversificar la producción.

1.2.4 Interacciones entre el componente arbóreo y la pastura: El diseño de un SSP debe ajustarse a las condiciones particulares de cada sitio y productor (Somarriba, 1997). En los SSP las especies leñosas afectan el crecimiento de las especies herbáceas que crecen debajo (Plevich *et al.*, 2002). Las interacciones que se producen son directas a partir de la competencia por el uso de los recursos luz, agua y nutrientes, o indirectas, cuando un componente afecta las condiciones ambientales que condicionan la utilización de los recursos por otros (Callaway y Walker, 1997). Una reducción de la densidad del estrato arbóreo, usualmente incrementa la productividad de los estratos herbáceos debido a la reducción de la competencia por luz, agua y nutrientes, y posiblemente a efectos antagónicos de exudados de los árboles (Sequeira y Gholz, 1991; Plevich *et al.*, 2002).

La fracción de luz que incide sobre el sotobosque depende de la radiación reflejada y transmitida por el canopy de los árboles (Monteith y Unsworth, 1990). Pincemin *et al.*, 2007 encontraron diferencias en la calidad y en la cantidad de luz que llegaba al estrato herbáceo en un SSP bajo álamos, afectando la productividad y la estructura de las gramíneas lo que provocaba un comportamiento diferencial de los pastos dentro y fuera de la plantación. Por otra parte, a medida que disminuye la densidad arbórea en los SSP de álamo en plantaciones uniformes se modifica favorablemente el flujo y la captación de energía radiante en los estratos inferiores, incrementándose la producción de materia seca del pastizal asociado (Acciaresi *et al.*, 1994). El efecto neto sobre la producción forrajera dependerá del grado de sombreado, de las especies involucradas y de la respuesta de tales especies a la variación combinada de la radiación y otros factores ambientales; el sombreado afecta además la calidad del forraje, la reproducción y la composición del pastizal (Carranza y Ledesma, 2009).

La disponibilidad de nutrientes y agua del suelo para los componentes arbóreos y no arbóreos del sistema dependerá de la profundidad de exploración de las raíces. En ciertos SSP existe competencia por agua del suelo entre árboles y pastos debido a una superposición de las raíces en los primeros centímetros del suelo (Dulorme *et al.*, 2004). Contrariamente, existen casos en los que los árboles poseen su sistema radical en niveles más profundos del suelo, minimizando la competencia e incrementando el uso total de los recursos del suelo (Schroth, 1999). Asimismo el sentido y magnitud de estas interacciones estarán determinados por prácticas silvícolas, como la intensidad del raleo, ocasionando variaciones microclimáticas, en la cantidad y régimen de luz, y en la dinámica de nutrientes. El manejo de las copas (ej. podas), los arreglos y distanciamientos de plantación, la selección de las especies herbáceas y arbóreas permiten regular las relaciones dosel-sotobosque; por otra parte, raleos tempranos y fuertes, combinados con podas para mejorar la calidad de los fustes, permiten extender e incrementar la producción forrajera y por ende la ganadera (Somarriba, 1997). Existe además una relación inversa entre la disponibilidad de fitomasa del pastizal natural y el daño que el pastoreo de los vacunos provoca sobre la regeneración arbórea (Simón *et al.*, 1998).

1.2.5 Interacciones entre el componente arbóreo y el ganado: La

combinación de pasturas y árboles forrajeros incrementa el valor nutritivo de la dieta animal, mientras que la hojarasca de los árboles estimula el ciclaje de nutrientes, protege el suelo y mejora su fertilidad (Ibrahim *et al.*, 2006; Pagiola *et al.*, 2007). Por su parte, el ganado vacuno pastoreando bajo la sombra de los árboles sufre menos el estrés por altas temperaturas que en un sistema ganadero puro (Murgueitio *et al.*, 2006). Comparados con una pastura pura los sistemas silvopastoriles (SSP) proporcionan mayores servicios ecosistémico (Ibrahim *et al.*, 2006) siendo un sistema práctico y económico (Clason, 1998). Los SSP con álamos orientados a la producción de madera de calidad, resultan opciones compatibles en diferentes países (FAO, 2004).

Por otro lado, el follaje de algunas especies de árboles puede ser utilizado como forraje o como un componente regular de la alimentación del ganado (Benavidez *et al.*, 2006). Por ejemplo, el follaje de los álamos (*Populus* sp.) tiene buenos valores nutritivos y son frecuentemente utilizados como valiosos suplementos alimenticios (Ball *et al.*, 2005; Mead, 2009). Sin embargo, la introducción de animales puede ocasionar daños a las plantas jóvenes a través del ramoneo, pisoteo, descortezado, quebraduras o vuelco, estos son efectos directos del ganado sobre los árboles. El daño se refleja en mayor mortalidad de árboles, pérdida de calidad del fuste por ramoneo, quebraduras y descortezamiento o menor crecimiento por defoliación. Aunque es técnicamente factible proteger los árboles en el campo, el costo financiero es elevado. Por ello, la determinación de la edad de inicio del pastoreo es la herramienta de manejo preferida para minimizar el daño directo. Esta edad puede variar dependiendo del crecimiento inicial de los árboles, de su palatabilidad al ganado y de los objetivos del productor (Somarriba, 1997).

El productor debe balancear el perjuicio de enfrentar mayor daño al inicio de la plantación, con los beneficios derivados por la reducción de los costos de control de malezas y el mayor potencial de producción animal de los primeros años, cuando el pasto es abundante. Es posible iniciar temprano el pastoreo de plantaciones de especies forestales de rápido crecimiento inicial o en buenas condiciones de sitio. Por el contrario, en sitios inapropiados, donde los árboles crecen más lentamente y la escasez de pastos durante el período seco estimula el ramoneo, la edad mínima de pastoreo puede alargarse. Las plantaciones con especies forestales “no palatables” pueden pastorearse más tempranamente que las plantaciones forestales “palatables” que deben hacerlo en forma tardía, por ejemplo cuando la copa quede fuera del alcance de los animales (Somarriba, 1997).

Por otro lado la selección de la especie animal o el tipo de producción ganadera permite manejar los niveles de daño directo. Por ejemplo, los hábitos alimenticios de vacunos en comparación con caprinos resultan en menores niveles de daño en los árboles. Asimismo, el mayor tamaño y peso de los toros, en comparación de terneros en desarrollo, puede resultar en diferencias en los daños por vuelco, quebramiento o compactación del suelo que afecta el crecimiento de los árboles (Somarriba, 1997).

1.2.6 Sistemas silvopastoriles con álamos en el Delta del Río Paraná: Si bien el ingreso de los animales debajo de las forestaciones de sauces y álamos es una técnica que se practica en el Delta del Paraná desde hace ya muchos años con el fin de minimizar la ocurrencia de incendios forestales y de pastizales, la mirada sistémica de los manejos Silvopastoriles en el Delta es relativamente reciente. En las plantaciones de álamo del Delta del Paraná todavía hoy resulta común encontrar distancias de plantación del tipo 3x3 m; 3,5x3,5 m; 3x4 m para la producción de madera aserrada. El ganado vacuno, salvo contadas excepciones, no fue utilizado con un fin productivo sino más

bien para reducir la biomasa superficial, en su mayoría malezas, minimizando el riesgo de ocurrencia de incendios forestales. La vegetación natural espontánea no recibe generalmente en campos ganaderos un manejo acorde a las exigencias propias del sistema. En los últimos 10 años se incrementó el abordaje de la actividad silvopastoril como sistema productivo propiamente dicho y se inició su estudio en medios académicos. Los SSP como tal constituyen una importante alternativa para grandes, medianos y pequeños productores, ya que ofrecen una posibilidad de diversificación y de eficiencia en la utilización de los recursos naturales disponibles sin producir grandes transformaciones en los sistemas productivos. Pueden citarse como ventajas competitivas de la región, la proximidad a los centros de concentración, comercialización y consumo que junto al conocimiento del origen de la hacienda y de la madera que se produce, confieren al producto final una calidad diferencial que puede certificarse (Casaubón, 2009).

En la instalación de SSP con álamos en el Delta del Paraná, los materiales de propagación más utilizados son la E (estaca), la (G1) guía de un año y la G2 (guía de dos años de edad), sin raíz. La nueva realidad agropecuaria del país obliga a acelerar el momento de ingreso de los animales a las forestaciones, y a manejar los ambientes propiamente como sistemas holísticos. Si bien cuando se utilizan E, el costo de los materiales de propagación es menor, el ingreso de los animales a los SSP se produce recién al 4° ó 5° año de edad de la plantación (Suárez, 2006).

El objetivo general de la Tesis de Maestría consiste en “generar una nueva tecnología para la instalación de un SSP orientado a la producción de maderas de álamo de calidad para múltiples destinos, y pasturas naturales espontáneas” para lo cual se necesita contar con materiales de plantación que faciliten la instalación del SSP minimizando los daños que pudiere ocasionar el vacuno a las plantas (tumbado, quebraduras, descortezamientos) y evitar el lucro cesante que se produce entre el período de plantación y el ingreso del ganado al sistema.

La producción de biomasa lignocelulósica utilizando especies o híbridos del género *Populus* se encuentra influenciada por el material de multiplicación utilizado y por las características propias del sitio de cultivo. En su mayoría los álamos son especies muy productivas con altos requerimientos lumínicos e hídricos (FAO, 1980; Sixto *et al.*, 2007).

1.2.7 Efecto del pastoreo sobre plantación de guías: Los álamos resultan muy palatables para los animales y las cualidades nutricionales de sus hojas y ramas tiernas son similares a ciertos pastos (Rossi *et al.*, 2005; Carou *et al.*, 2009). Sin embargo, con una adecuada combinación entre el tamaño de árboles y el momento de ingreso de los animales a la plantación puede resultar exitosa la instalación del sistema (Lefroy *et al.*, 1992; Taranaki, 2001).

A pesar de los beneficios potenciales de los SSP, muy poco se ha investigado sobre el establecimiento temprano de especies deciduas con destino a madera de calidad. De lo expuesto se desprenden los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivos

- Evaluar los cambios que se producen en las diferentes distancias de plantación sobre la dimensión y características morfológicas de las guías de álamo, materiales de multiplicación potencialmente aptos para instalar un SSP.

- Determinar el efecto del tamaño y/o edad de las guías sobre el crecimiento del componente arbóreo y la sensibilidad al daño de las mismas bajo pastoreo de ganado bovino, en un SSP de *P. deltoides* `Australiano 106/60´.

1.3.2 Hipótesis:

En un SSP de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´:

- Una mayor luminosidad en el estaquero tiene una incidencia directa en las dimensiones de las guías producidas.
- La acumulación de biomasa, las dimensiones de las guías, su rectitud y esbeltez, el área foliar y el área foliar específica en el estaquero están directamente relacionados con el distanciamiento de plantación.
- Árboles originados de guías presentan buen prendimiento y desarrollo volumétrico.
- El daño del ganado a los árboles se relaciona inversamente con la edad y el tamaño del material de propagación y con la abundancia de pasturas de calidad.
- Hojas y ramitas tiernas de árboles constituyen un buen complemento de la dieta alimentaria ganadera.

Esta tesis está organizada en 4 capítulos. El Capítulo 1 es la introducción general de la tesis donde se presentan los antecedentes de la temática del presente estudio. El Capítulo 2 se orienta a dar respuesta al Objetivo 1 enfatizando el efecto de las diferentes distancias de plantación sobre la dimensión y características morfológicas de las guías de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´. El Capítulo 3 está dirigido a lograr el Objetivo 2 para responder cual es el efecto del tamaño y/o edad de las guías sobre el crecimiento del componente arbóreo y la sensibilidad al daño de las mismas bajo pastoreo de ganado bovino. Finalmente, el Capítulo 4 discute los aspectos generales y conclusiones de toda la tesis.

Capítulo 2: Efecto de la disponibilidad de luz sobre la dimensión y calidad de guías de *P. deltoides* `Australiano 106/60' para uso en Sistemas Silvopastoriles.

2.1. INTRODUCCION:

Las Salicáceas de uso forestal como los álamos y los sauces, son especies heliófilas y en su mayoría altamente productivas, con altos requerimientos lumínicos e hídricos que desarrollan una gran actividad fotosintética (FAO, 1980; Sixto *et al.*, 2007). La producción de materia seca en álamos muestra una relación lineal con la cantidad de luz interceptada por las hojas a través del proceso de fotosíntesis (Ericsson *et al.*, 1992; Beadle *et al.*, 1995; Oliver y Larson, 1996; Concuera, 2005; Dawson *et al.*, 2005; Dillen *et al.*, 2010), por lo que cualquier factor que afecte tanto el área foliar, como la eficiencia en la conversión de la luz interceptada, produce un desbalance crítico (Hinckley *et al.*, 1992). Es decir cuando el agua y los nutrientes no resultan factores limitantes, la producción de biomasa está determinada principalmente por el desarrollo de la copa, por ser la responsable de la intercepción solar (Barigah *et al.*, 1990; Ceulemans *et al.*, 1992; Souch y Stephens, 1998; Ceulemans y Daraedt, 1999). En el caso particular de los estaqueros de álamo y en algunos sistemas de producción de alta densidad utilizados frecuentemente para bioenergía, además de la eficiencia fotosintética de la plantación, el rendimiento económico está determinado por la acumulación de biomasa en las ramas guías (Cortizo *et al.*, 2011).

La forma comúnmente utilizada de establecer una plantación comercial de álamos en Argentina, y en muchos países del mundo, consiste en utilizar estacas (E) sin raíz de 0,70 m de largo como material de propagación, sin embargo las E presentan habitualmente problemas de crecimiento debido al efecto de topófisis (Alonzo y Sancho, 1964, Bunse y Cerrillo, 1988), de ciclófisis (Martínez Pastur *et al.*, 1994) y/o de enraizamiento (Martínez Pastur *et al.*, 1994; Carmona *et al.*, 1985), como así también las prácticas culturales que influyen en el éxito del enraizamiento (Frison, 1972; Edwards y Kisson, 1975), la competencia con malezas (FAO, 1980), pérdidas por heladas tardías y por el ataque de hormigas (Casaubón, 2011). Esto puede ocasionar pérdidas de volumen de la plantación y un crecimiento muy heterogéneo del rodal.

Es importante resaltar que cuando se instala un SSP utilizando estacas, el ingreso de los animales se realiza habitualmente al cuarto o quinto año de instalada la plantación (Sanhueza, 1998; Suárez, 2006). Además, si los materiales de propagación no poseen buen diámetro y altura, pueden producirse importantes pérdidas de plantas por dificultades de enraizamiento (Corcuera, 2005). Es asimismo muy conocida la palatabilidad de las hojas de álamo y su valor forrajero para diferentes tipos de ganado (Carou *et al.*, 2010, Thomas, 2011), lo cual determina que en los SSP sean frecuentes las pérdidas por herbivoría y/o daños mecánicos. Por lo tanto el desafío consiste ahora en generar materiales de propagación de un diámetro tal que permitan acelerar el ingreso del ganado vacuno al SSP minimizando las pérdidas de plantas por tumbado, quebraduras y/o descortezamientos. Una alternativa empleada en diferentes países, consiste en utilizar guías de uno (G1), dos (G2) y tres años de edad (G3), sin raíz, como material de propagación (FAO, 1957; May, 1959; Prevosto, 1971; Vidali, 1973; Mantovani, 1993; Sanhueza, 1998; Casaubón, 2003). Estas guías poseen un buen porcentaje de prendimiento, llegando a superar a las estacas en muchos clones comerciales de *Populus deltoides* (Casaubón *et al.*, 2001).

Es importante conocer la cantidad de biomasa que acumulan los árboles en estudios de dinámica y secuestro de carbono, en adaptaciones de los árboles al ambiente y para evaluar impactos de diferentes prácticas de manejo silvícolas (Alamgir y Al-Amin, 2008). La biomasa forestal incluye el componente aéreo y subterráneo de un

ecosistema forestal (Schlegel *et al.*, 2000). A pesar de que el componente subterráneo resulta de gran importancia, no abundan actualmente los trabajos que evalúen el sistema radical de árboles debido a las dificultades que presenta su estudio. El concepto de “asignación de biomasa” se refiere a la distribución relativa de asimilados entre los órganos aéreos y subterráneos de la planta y representa una medida de inversión proporcional destinada a diferentes funciones (Bazzaz, 1997). Thornley (1969) propuso la “teoría de la partición óptima de biomasa” para explicar el significado funcional de las diferencias en la asignación de biomasa entre especies y entre diferentes ambientes dentro de una misma especie. Este modelo asume que los recursos son críticos para el crecimiento y desarrollo, y por lo tanto los mismos se asignan a funciones mutuamente excluyentes, es decir que la asignación a una estructura y función disminuye necesariamente la asignación a otras (Dezzotti, 2008). Según McConaughay y Coleman (1999) plantas expuestas a la luz escasa durante un tiempo determinado desvían sus asimilados mayoritariamente hacia la producción de tallos y hojas, por lo tanto el cociente A/R (A=biomasa de tallo y hojas, R=biomasa de raíz) aumenta, mientras que sometidas a una insuficiente cantidad de nutrientes producen en proporción más raíces, y el cociente A/R disminuye. Sixto *et al.* (2007) determinaron una estrecha relación entre el espaciamiento, la edad de rotación y la supervivencia de las plantas de álamo. En la producción de guías con destino a la instalación de SSP, el distanciamiento de plantación en vivero tiene una fuerte incidencia en la calidad de los materiales de propagación. Para Sanhueza (1988), el diámetro y el tamaño de las guías juegan un rol importante en el desarrollo y crecimiento de la plantación. Por lo tanto establecer el mejor distanciamiento de plantación en vivero para producir guías de álamo de buen DAP, altura total (Ht), grado de esbeltez e índice de sinuosidad resulta de gran importancia para una instalación exitosa del SSP. Además, para la instalación anticipada de SSP interesa conocer cómo producir guías con una mayor biomasa individual que faciliten el rápido ingreso de los animales al sistema, de lo cual existe muy poca información bibliográfica disponible.

2.1.1 OBJETIVO e HIPÓTESIS

- Evaluar los cambios que se producen en diferentes distancias de plantación sobre la dimensión y características morfológicas de las guías de *P. deltoides* ‘Australiano 106/60’, materiales de multiplicación potencialmente aptos para instalar un SSP.

Se intenta responder las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se relacionan la estructura y el microambiente lumínico utilizando parámetros estimados a través de fotografía hemisférica y las variables DAP y altura total (Ht) en cada distanciamiento?
- ¿Cómo se acumula y particiona la biomasa aérea y subterránea de las guías de álamo en diferentes distanciamientos?
- ¿A qué edad y distancia de plantación se producen guías más rectas y seguras frente a daños mecánicos en la instalación de SSP?
- ¿Qué relación existe entre el área foliar, el área foliar específica y la acumulación de biomasa en las diferentes distancias de plantación.

Las **hipótesis** planteadas fueron las siguientes:

En un SSP de *Populus deltoides* `Australiano 106/60`:

- Una mayor luminosidad en el estaquero tiene una incidencia directa en las dimensiones de las guías producidas.
- La acumulación de biomasa, las dimensiones de las guías, su rectitud y esbeltez, el área foliar y el área foliar específica en el estaquero están directamente relacionados con el distanciamiento de plantación.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Características del área de estudio: El Delta del Paraná está ubicado en la porción final de la Cuenca del Plata, y ocupa una superficie aproximada de 1.700.000 ha (Burkart, 1957; Bonfils, 1962). Las características ambientales del bajo Delta bonaerense y entrerriano resultan propicias para el desarrollo de SSP con salicáceas (Casaubón *et al.*, 2005). El clima del Delta es templado húmedo, sin estación seca (De Fina y Ravelo, 1979). La temperatura media anual oscila entre 16 y 17 °C. La media de verano entre 22 y 23° y la de invierno entre 10 y 11 °. Si bien el promedio de precipitaciones es de 1021 mm anuales (Malvárez, 1997; Kandus, 1997), durante 2007 las precipitaciones fueron de 1.488 mm (45,7% superior al promedio), en 2008 de 596 mm (41,6% inferiores al promedio) y en 2009, de 1.402 mm (un 37,3% superior al promedio).

El ensayo se instaló en Agosto de 2006, en el campo experimental de la EEA Delta del Paraná de INTA, 34° 10'31,3" LS y 58° 51'16,1" LO. En el centro del ensayo se abrió una calicata de un metro de profundidad y se tomaron muestras de las diferentes capas de suelos. En el Instituto de Suelos de INTA Castelar se determinaron textura, carbono orgánico, N, P, Ca, Mg, Na y K, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y porcentaje de sodio de intercambio (PSI) (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Resultados obtenidos en los análisis físico-químicos de las muestras de suelos tomados en el ensayo.

Capa N°	Profundidad (cm)	Clase textural	pH	CO (%)	NO (%)	P (ppm)	Relación C/N	CIC (meq/%)	PSI (%)	Cationes de intercambio (meq/%)			
										Ca	Mg	K	Na
1	0-20,5	Arcillo limosa	4,9	8,04	0,6	3,9	13,4	28,6	0,7	12,3	5,7	0,6	0,2
2	20,6-32,5	Franco limosa	4,7	1,23	0,11	2,2	11,2	13,8	0,7	4,2	3	0,3	0,1
3	32,6-69	Franco limosa	4,7	1,44	0,14	2,1	10,3	15,8	2,5	5,7	2,9	0,3	0,4
4	+ de 69	Franco arenosa	4,3	0,12	0,02	16,6	6	6,6	3	2,5	1,3	0,2	0,2

2.2.2 Manejo del terreno: El ensayo (¼ de hectárea) se instaló en un terreno típico de bañado protegido por un dique perimetral sistematizado mediante la construcción de un sistema de drenaje compuesto por canales, zanjas y sangrías. Los excesos de agua se eliminaron a través de un sistema de compuertas instalado a orillas del Canal Laurentino Comas y de un sistema de bombeo. El tratamiento que recibieron los estaqueros fue similar al que se realiza habitualmente en el Delta. Si bien los estaqueros nunca recibieron riego, en la zanja y en el canal lateral siempre hubo agua disponible. El suelo fue ocupado en un *multiflorum*, *Paspalum spp.*, *Cynodon dactylon*, *Carex riparia* e *Iris pseudacorus*. Para favorecer el prendimiento de las estacas, aumentar la temperatura del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes, minimizando la competencia de malezas se utilizó como “mulching” una lámina de polietileno negro de 100 micrones de espesor (Toscani, 1980).

2.2.3 Diseño experimental: Se instalaron 16 parcelas de 36 m² de superficie. El diseño utilizado fue de bloques completos aleatorizados (DBCA) con 4 repeticiones (bloques). Los tratamientos fueron 4 densidades de plantación de cepas madres: 0,6x0,6 m; 0,8x0,8 m; 1x1 m y 1,2 x1,2 m. En todos los casos se comprobó el cumplimiento de los supuestos para el análisis de un ANOVA. El programa estadístico utilizado fue InfoStat, 2008.

Los valores del DAP medio, Ht media, índice de sinuosidad medio y el coeficiente de esbeltez medio, se compararon utilizando modelos lineales mixtos (MLGM) para mediciones repetidas en el tiempo del paquete estadístico Infostat. Para evaluar los cambios en DAP y Ht a través de los tres años de estudio se usaron los modelos lineales mixtos (MLGM) para mediciones repetidas en el tiempo del paquete estadístico Infostat. Para determinar el modelo que mejor ajusta al grupo de datos analizados se utilizaron los criterios de Akaike (AIC) y el Criterio Bayesiano de Información (BIC). La variable respuesta utilizada fue el DAP y la Ht promedio de las guías de cada parcela. Se incorporaron como factores fijos al distanciamiento (4 niveles: 0,6 m, 0,8 m, 1 m y 1,20 m) y la edad del material de plantación (3 niveles: 1, 2 y 3 años de edad), y como factor aleatorio al bloque y a la parcela dentro de cada bloque. Para evaluar la sinuosidad y conicidad de las guías, la variable respuesta utilizada fue el índice de sinuosidad medio y el coeficiente de esbeltez medio. Como factores fijos se incorporaron en ambos casos al distanciamiento (4 niveles: 0,6 m, 0,8 m, 1 m y 1,20 m) y la edad del material de plantación (3 niveles: 1, 2 y 3 años de edad), y como factor

aleatorio al bloque. En todos los casos la normalidad de los residuos fue verificada en forma gráfica (Q-Q plot) y la homogeneidad de varianzas a partir del gráfico de residuos estudentizados vs predichos (InfoStat, 2008).

Las determinaciones de AF y AFE medios entre tratamientos, se compararon mediante un Análisis de la Varianza (ANOVA) con un factor fijo (distanciamiento) y uno aleatorio (bloques) y comparaciones de a pares mediante la prueba de Tukey.

Los valores medios de las variables microambientales entre los distintos tratamientos se compararon mediante un modelos generales mixtos (MLGM) para medidas repetidas. La variable respuesta utilizada fueron los índices ISF, DSF, GSF, PAR, GndCover, VisSky, LAI Dev y Sunflex. Se incorporaron como factores fijos al distanciamiento (4 niveles: 0,6 m, 0,8 m, 1 m y 1,20 m) y a la altura de medición (3 niveles: 2, 5 y 8 m), y como factor aleatorio al bloque (DSF, GSF, Gndcover, Vis sky y LAI Dev) y a la parcela dentro de cada bloque (ISF y PAR). Se estudió además la relación entre variables productivas, dasométricas, morfológicas y microambientales mediante un análisis de correlación simple.

2.2.4 Plantación y manejo de los estaqueros: El ensayo se instaló utilizando estacas (E) de 0,70 m de largo como material de propagación (Foto 2.1) provenientes de un estaquero de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná de INTA. Las E se hincaron en el terreno 0,40 m de profundidad, quedando aproximadamente 0,30 m en superficie utilizando como herramienta de plantación una barreta especialmente diseñada para ese fin. Previo a la plantación, se hidrató muy bien el hoyo, se colocó la estaca, se apisonó el suelo alrededor de la estaca y se volvió a regar. A los pocos meses de instalado el ensayo se controló la maleza *Ipomea indivisa* utilizando métodos manuales, y las hormigas podadoras (*Acromyrmex* sp.) mediante tratamientos químicos (Mirex). Transcurridos 6 meses desde la plantación se hizo un raleo de guías dentro de las parcelas dejando siempre en pie a la más vigorosa, recta y mejor posicionada de todas las guías desarrolladas en cada cepa, mientras que las restantes se eliminaron utilizando tijeras de podar de dos manos.

2.2.5 Mediciones dasométricas: En cada parcela se evaluó en el otoño de 2007, 2008 y 2009, luego del período de crecimiento, las siguientes variables: diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (Ht) en las 9 guías centrales de cada parcela, descartando para el análisis las guías de la bordura. Para medir el DAP se utilizó un calibre y para la Ht una vara telescópica de fibra de vidrio (Foto 2.2).



Foto 2.1: Etapa de brotación de estacas en el ensayo de cuatro diferentes distancias de plantación en estaquero de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60', para producción de guías para instalar sistemas silvopastoriles.



Foto 2.2: Ensayo de diferentes distancias de plantación (0,6x0,6; 0,8x0,8; 1x1 y 1,2x1,2 m) para producción de guías de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60', al primer año de edad

2.2.6 Índice de sinuosidad (IS): En 2009, al finalizar el ensayo, se evaluó la altura de la guía recién apeada y el largo total de las 9 guías centrales de cada parcela utilizando una cinta métrica de fibra de vidrio. Se identificó y marcó con pintura el crecimiento en altura que había tenido la guía al primero, segundo y tercer año. Además se estableció un índice de sinuosidad (IS) equivalente al cociente entre el largo total de cada guía y su altura total, es decir la relación que existe entre la distancia que separa dos puntos a lo largo de la guía (la base y el ápice) y la distancia en línea recta entre ellos. Una guía recta tiene un IS igual a 1, esto indica la mayor rectitud de la guía, mientras que valores superiores a 1 indican mayor sinuosidad.

2.2.7 Coeficiente de esbeltez o factor de estabilidad: Al tercer año de crecimiento del estaquero se relacionó la Ht (m) de las 9 guías centrales y su DAP (m) en cada año de crecimiento. Este coeficiente se utilizó como un indicador de estabilidad de los árboles contra daños ocasionados por fuerzas mecánicas. Cuanto más bajo es el valor de esbeltez de la guía mayor estabilidad tendrá la misma frente a los daños mecánicos (Durlo y Denardi, 1998).

2.2.8 Relación entre espaciamiento y acumulación de biomasa: Al tercer año de edad del estaquero se tomó en cada parcela (repetición) del ensayo tres plantas de las 9 centrales, con un DAP cercano al promedio y se midió la biomasa del fuste con y sin corteza, hojas, ramas vivas mayores y menores a 1 cm de diámetro, y las ramas muertas totales. El muestreo de raíces se hizo mediante la excavación de las mismas; se separaron en tres clases: raíces finas (<1 cm), raíces medias (>1 cm) y raíces gruesas (>5 cm). Todas las muestras se secaron en estufa a 65°, hasta peso constante para determinar su biomasa.

2.2.9 Área Foliar (AF) y área foliar específica (AFE): Se estimó el AF y el AFE utilizando un método destructivo; en tres guías de álamo tomadas del centro de cada parcela del ensayo. La copa de cada guía se dividió en tres secciones, ápice, medio y base; se tomó como muestra una hoja de cada sector para la determinación del AF. Las hojas de cada guía y sección de la misma se colocaron en bolsas de papel, se identificaron y posteriormente se fotocopiaron, escanearon y mediante un programa de análisis de imagen UTHSCA Image Tool versión 3.0 se estimó en cada una de ellas su AF. Las hojas se colocaron posteriormente en estufa a 65 °C hasta peso constante para determinar su peso seco, se separó luego la lámina del pecíolo de la hoja; las láminas se pesaron en una balanza de precisión para determinar su AFE; se midió además el largo de los pecíolos utilizando un calibre. El AF de cada hoja se expresó en cm², el AFE en cm²/g.

2.2.10 Caracterización del dosel y microambiente lumínico mediante fotografía hemisférica: Para caracterizar la heterogeneidad de luz que recibió el canopeo del estaquero y el microambiente lumínico dentro de las parcelas, a fines del verano de 2009 se tomaron 72 fotos hemisféricas, 3 por cada centro de parcela, a 2 m, 5 m y 8 m de altura desde el nivel del suelo. Todas las fotos se tomaron a primera y a última hora del día para asegurar una correcta y homogénea iluminación del cielo (luz difusa). El equipo de campo consistió en una lente hemisférica “Fisheye”. Las variables se calcularon con el programa HemiView 2.1 (Delta-T Devices, 1999). Se utilizaron 8 divisiones acimutales y 15 divisiones cenitales para los cálculos y distribución de la radiación difusa (Foto 2.3).

Las variables calculadas fueron: Sunflecks (destellos de sol) que resultan de una gran cantidad de pequeñas discontinuidades que existen en el dosel forestal (Pearcy, 1990). ISF: este índice mide la proporción de la radiación solar indirecta o difusa hacia el suelo forestal. DSF: mide la proporción de la radiación solar directa hacia el suelo forestal. GSF: es la proporción de la radiación solar total (directa + difusa) bajo el dosel del bosque. Los índices ISF, DSF y GSF son utilizados como una expresión de la contribución relativa de la radiación fotosintéticamente activa indirecta, directa y total bajo el dosel respecto al valor sobre el dosel (Anderson, 1964_b). GndCover: estima la fracción de suelo cubierta por el dosel forestal. Sus valores varían entre 0 (cuando el cielo está completamente visible) y 1 (cuando el cielo está completamente cubierto u oscuro). PAR: Radiación fotosintéticamente activa total bajo y sobre el canopeo. LAI efectivo es el índice de área foliar. Vissky: este índice da un valor de la fracción de cielo visible, una proporción de cielo no obstruido. LAI Dev: mide la uniformidad de la distribución de cielo visible en el dosel, o la uniformidad de la distribución de la luz que llega al suelo. Sus valores van generalmente de 0 a más. Cuando los valores son iguales a 0 o muy cercanos a 0 el cielo está uniformemente despejado y cuando los valores son mayores el cielo está obstruido más homogéneamente.



Foto 2:3: Toma de fotografía hemisférica utilizando una lente hemisférica “Fisheye” en ensayo de diferentes densidades de estaqueros de *Populus deltoides* `106/60`, al tercer año de plantación.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Producción de guías de álamo: Analizando el DAP y la Ht, se identificó una interacción muy significativa ($p=0,0001$) entre el distanciamiento y el año de plantación (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (Ht) promedio de guías de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' creciendo a diferentes densidades en estaquero durante tres años. Letras diferentes indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ para una misma variable.

Distancia (m)	N	2007		2008		2009	
		DAP(cm)	Ht (m)	DAP(cm)	Ht (m)	DAP(cm)	Ht (m)
0,6x0,6	36	2,15(0,62)h	4,60(0,82)h	3,42(1,02)f	6,48(1,54)f	4,46(0,35)e	7,97(2,17)e
0,8x0,8	36	2,73(0,50)g	5,09(0,55)gh	4,38(0,79)e	7,79(1,02)e	5,47(0,44)cd	9,60(1,88)c
1,0x1,0	36	3,14(0,69)f	5,22(0,64)g	5,22(0,93)d	8,41(0,93)de	6,94(0,69)b	10,88(1,50)b
1,2x1,2	36	3,49(0,38)f	5,28(0,43)g	5,72(0,68)c	8,94(0,61)cd	7,78(0,27)a	11,95(1,03)a

Si bien en el primer año los dos distanciamientos más amplios presentaron mayores valores de DAP, no se detectaron diferencias significativas entre ellos, al segundo y al tercer año se diferenciaron significativamente entre sí ($p < 0,05$). Los mayores valores de DAP correspondieron al distanciamiento mayor, sin embargo, en el distanciamiento más estrecho y en los dos intermedios los valores de DAP se diferenciaron significativamente entre sí durante los tres años de medición. Con respecto a la Ht durante el primer y segundo año, el distanciamiento menor fue el que proporcionó la menor Ht diferenciándose significativamente de los dos distanciamientos mayores. En el tercer año todos los distanciamientos presentaron diferencias significativas entre sí, correspondiendo los valores de Ht más altos a los distanciamientos mayores.

2.3.2 Índice de sinuosidad (IS): En los tres años de medición, las guías más rectas (menor valor de IS) se registraron en las dos mayores distancias de plantación (1,2x1,2 m y 1x1 m) y las guías más sinuosas con mayor valor de IS, en el distanciamiento menor ($p = 0,04$). Las guías obtenidas en el distanciamiento 0,8x0,8 m solo presentaron diferencias marginales. Sin embargo, no hubo diferencias significativas ($p = 0,1539$) entre cada año de medición.

Tabla 2.3: Medias ajustadas del Índice de sinuosidad y errores estándares para cada distanciamiento. LSD Fisher ($\alpha=0,05$). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Distancia	IS	E.E.
0,6x0,6	1,01	0,0015 a
0,8x0,8	1,00	0,0015 ab
1x1	1,00	0,0015 b
1,2x1,2	1,00	0,0015 b

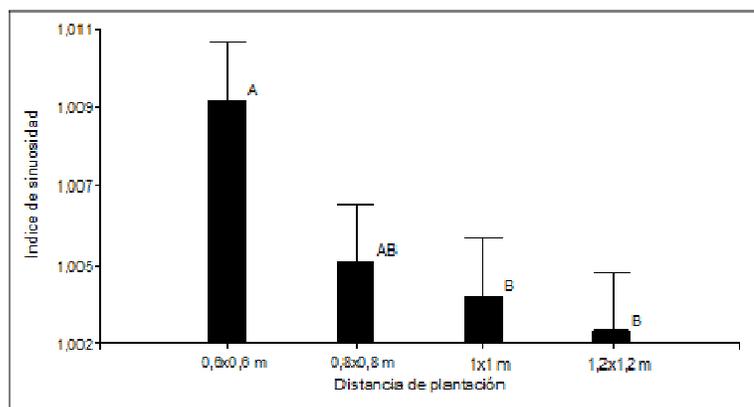


Figura 2.1: Índice de sinuosidad (\pm desvío estándar) en cada distanciamiento de plantación de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' al tercer año de edad del estaquero. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

2.3.3 Coeficiente de esbeltez o factor de estabilidad: En el análisis de los datos se encontró una interacción altamente significativa ($p=0,001$) entre las variables distancia de plantación y año de medición. En el primero, segundo y tercer año del ensayo, el menor coeficiente de esbeltez (árboles más cónicos) se obtuvo en el mayor distanciamiento (1,2x1,2 m), seguido por el tercero (1x1 m), mientras que los mayores valores correspondieron a los distanciamientos más estrechos (0,6x0,6 y 0,8x0,8 m) (Tabla 2.4).

Tabla 2.4: *Medias ajustadas del Coeficiente de esbeltez y errores estándares para la interacción distancia*año. LSD Fisher (Alfa=0,05). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).*

<u>Distancia</u>	<u>Año</u>	<u>CE</u>	<u>E.E.</u>
0,6x0,6	1	227,13	6,39 a
0,6x0,6	2	195,14	2,83 b
0,8x0,8	1	190,15	6,39 bc
0,6x0,6	3	182,04	2,12 cd
0,8x0,8	2	180,27	2,83 cd
0,8x0,8	3	175,24	2,12 cd
1x1	1	171,16	6,39 de
1x1	2	166,60	2,83 e
1x1	3	159,74	2,12 ef
1,2x1,2	2	157,41	2,83 ef
1,2x1,2	3	154,95	2,12 f
<u>1,2x1,2</u>	<u>1</u>	<u>152,09</u>	<u>6,39 f</u>

2.3.4 Relación espaciamiento acumulación de biomasa: La mayor distancia de plantación permitió obtener mayores valores de DAP ($p=0,0001$), AB (área basal; $p=0,0001$), Ht (altura total; $p=0,0001$), fuste sin corteza ($p=0,0001$), corteza ($p=0,0001$), ramas vivas menores a 1 cm ($p=0,0001$), ramas vivas mayores a 1 cm ($p=0,0001$), hojas ($p=0,0002$), raíces menores a 1 cm ($p=0,0001$), trozo de guía enraizada ($p=0,0001$) y en el peso seco total ($p=0,0001$). A su vez, los dos distanciamientos mayores difieren significativamente entre sí en DAP, AB, ramas vivas < a 1 cm, ramas vivas > a 1 cm, trozo de guía enraizada y peso seco total (Tabla 2.5).

Tabla 2.5: Principales variables dasométricas y biomasa promedio (\pm desvío estándar) expresadas en peso seco (kg) de plantas de tres años de edad en estaqueros de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60', discriminado por compartimiento y peso seco total, para los cuatros distanciamientos de plantación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Distanciamiento (m)	0,6x0,6	0,8x0,8	1x1	1,2x1,2
DAP (cm)	4,70 (0,60)a	5,28 (0,52)a	6,98 (1)b	7,80 (0,94)c
AB (m ²)	17,57 (4,39)a	22,12 (4,29)a	39,01 (10,92)b	48,37 (11,03)c
Ht (m)	8,75 (1,16)a	9,28 (1,32)a	11,13 (1,23)b	12,02 (1,02)b
Fuste s/c (kg)	2,25 (0,68)a	2,94 (0,81)a	6,55 (2,25)b	7,92 (2,38)b
Corteza (kg)	0,50 (0,17)a	0,62 (0,22)a	1,22 (0,45)b	1,09 (0,40)b
Ramas vivas <1cm (kg)	0,10 (0,06)a	0,13 (0,07)a	0,45 (0,20)b	0,60 (0,09)c
Ramas vivas >1cm (kg)	0,10 (0,03)a	0,16 (0,08)a	0,44 (0,15)b	0,67 (0,15)c
Ramas muertas (kg)	0,04 (0,03)a	0,16 (0,21)a	0,11 (0,04)a	0,13 (0,06)a
Hojas (kg)	0,11 (0,02)a	0,17 (0,04)a	0,38 (0,13)b	0,56 (0,17)b
Raíces <1 cm (kg)	0,73 (0,17)a	0,95 (0,25)a	1,82 (0,64)b	1,89 (0,55)b
Raíces >1 cm (kg)	0,55 (0,23)a	0,82 (0,36)ab	0,98 (0,36)bc	0,98 (0,36)c
Trozo de guía enraizada	0,64 (0,15)a	0,87 (0,13)a	1,30 (0,39)b	2,08 (0,25)c
Peso seco total tallo (kg)	3,09 (0,93)a	4,19 (1,26)a	9,02 (3,10)b	11,18 (3,13)b
Peso seco total raíz (kg)	1,93 (0,37)a	2,63 (0,26)a	4,10 (1,16)b	4,96 (0,99)b
Peso seco total (kg)	5,02 (1,28)a	6,82 (1,32) a	13,12 (4,11)b	16,14 (4,09)c

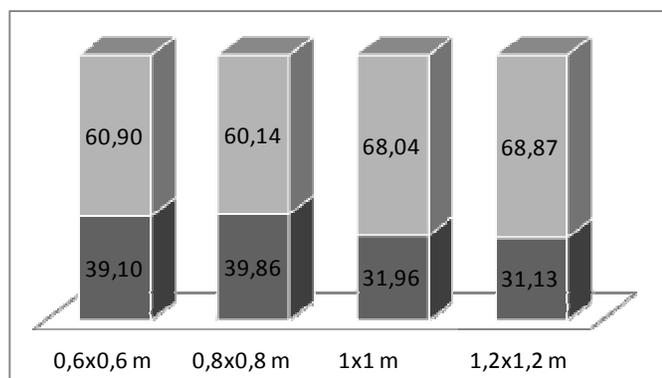


Figura 2.2: Porcentaje de raíz (barras negras) y de tallo (barras grises) en estaqueros de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' plantados a diferentes distancias.

Además es importante resaltar que en este trabajo se registró un mayor porcentaje de raíz en los distanciamientos más estrechos (Figura 2.2)

Al tercer año de edad del estaquero la productividad de biomasa promedio por planta fue significativamente superior en los distanciamientos mayores (1x1 y 1,2x1,2 m) con respecto a los menores (0,6x0,6 y 0,8x0,8 m), a su vez se encontraron también diferencias entre los dos distanciamientos mayores (Tabla 2.4).

Tabla 2.6: Valores de productividad de biomasa por planta y por hectárea año en cada distanciamiento de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' al tercer año de plantación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Distanciamiento (m)	Biomasa/planta (kg)	Plantas/ha	Biomasa/ha (kg)
0,6x0,6	5,02 a	27.777	139.441
0,8x0,8	6,82 a	15.625	106.563
1x1	13,12 b	10.000	131.200
1,2x1,2	16,14 c	6.944	112.083

Mientras que el desarrollo de raíces se registró a lo largo de toda la porción de la guía enterrada, el mayor porcentaje (61%) se situó en la primera capa de suelo de la clase textural arcillo-limosa, con una profundidad promedio de 25,6 cm situada inmediatamente debajo del mulching de polietileno negro.

2.3.5 Área foliar (AF) y área foliar específica (AFE): Si bien la productividad de las guías fue mayor al tercer año de plantación, en los cuatro distanciamientos de plantación analizados, el AF ($p=0,6581$), AFE ($p=0,2043$), el peso seco de la lámina ($p=0,4217$) y el largo del pecíolo de las hojas ($p=0,4615$) de la copa de las guías analizadas, no presentaron diferencias significativas entre ellos. Sin embargo analizando a la parte foliada de la guía por tercios, el AF de las láminas de las hojas del tercio superior duplicó al del tercio medio y triplicó al del tercio inferior de la copa ($p=0,0001$) (Figura 2.3).

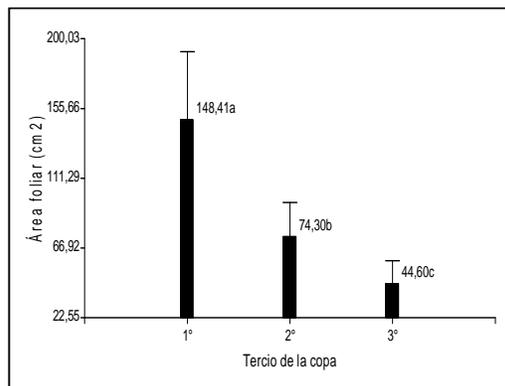


Figura 2.3: Área foliar (\pm desvío estándar) en guías de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60', de tres años de edad, a diferentes alturas de la copa, en las cuatro distancias de plantación. Letras distintas dentro de los cuadros indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las hojas del tercio superior fueron también significativamente más pesadas que las del tercio medio y estas a su vez que las del tercio inferior ($p=0,0001$) (Figura 2.4). Por su parte el AFE presentó diferencias significativas en los tres tercios de la copa, el menor valor correspondió al tercio superior y el mayor al tercio inferior ($p=0,0101$) (Figura 2.5). El largo del pecíolo de las hojas de la parte superior de la copa fue mayor ($p=0,0001$) respecto a los pecíolos de las hojas del tercio inferior.

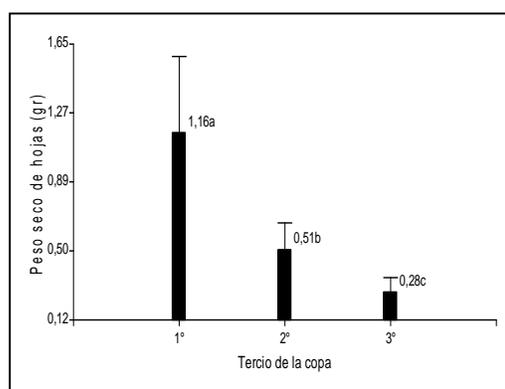


Figura 2.4: Peso seco de las hojas (\pm desvío estándar) en guías de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' de tres años de edad, a diferentes alturas de la copa. Letras distintas dentro de los cuadros indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

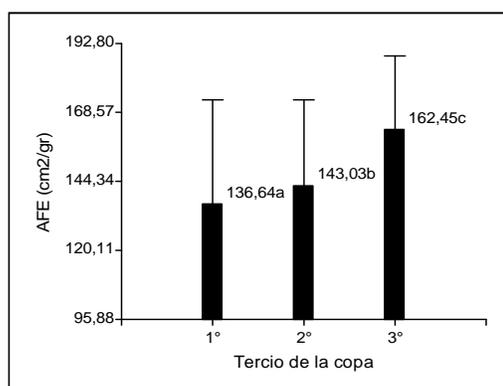


Figura 2.5: Área foliar específica de las hojas (\pm desvío estándar) en guías de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' de tres años de edad, a diferentes alturas de la copa. Letras distintas dentro de los cuadros indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

2.3.6 Caracterización del dosel y microambiente lumínico utilizando fotografía hemisférica: Los valores ISF (0,001), GSF ($p=0,035$) y PAR ($p=0,04$) variaron significativamente con el distanciamiento, sin embargo al analizar el perfil vertical del estaquero no se detectaron diferencias significativas en las tres alturas del canopeo analizadas ($p > 0,05$) (Tabla 2.7).

Tabla 2.7: Media (desvío estándar) de los parámetros estructurales y microambientales obtenidos en fotos hemisféricas tomadas a 2, 5 y 8 m de altura del dosel, en marzo de 2009, en cada distanciamiento ensayado en parcelas de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60'.

Distanciamiento (m)	0,6 x 0,6	0,8 x 0,8	1x1	1,2 x 1,2
Sunflecks (minutos)	10,36 (1,45)	12,56 (3,4)	11,34 (2,48)	12,95 (2,74)
ISF (%)	0,45 (0,03)	0,46 (0,02)	0,49 (0,03)	0,49 (0,03)
DSF (%)	0,48 (0,03)	0,51 (0,03)	0,52 (0,03)	0,52 (0,03)
GSF (%)	0,48 (0,03)	0,50 (0,03)	0,51 (0,03)	0,52 (0,03)
PAR (%)	2,12 (0,14)	2,01 (0,11)	1,96 (0,11)	1,93 (0,11)
GndCover (%)	0,21 (0,08)	0,14 (0,14)	0,04 (0,05)	0,05 (0,07)
LAI efectivo ($m^2 m^{-2}$)	1,14 (0,13)	1,14 (0,09)	1,08 (0,10)	1,07 (0,13)
Vis Sky (%)	0,31 (0,03)	0,31 (0,02)	0,33 (0,02)	0,33 (0,04)
LAI Dev (%)	0,57 (0,12)	0,77 (0,11)	0,68 (0,18)	0,70 (0,17)

Los valores de "Sunflecks", en cambio, no variaron con el distanciamiento ($p > 0,053$) y al analizar el perfil vertical del estaquero se detectaron diferencias significativas en los valores registrados a los 2, 5 y 8 metros de altura ($p=0,036$) (Figura 2.6).

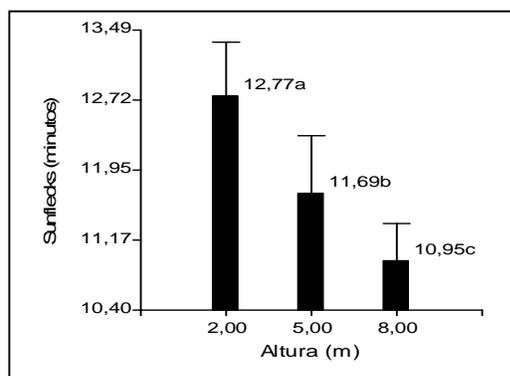


Figura 2.6: Duración promedio de los Sunflecks registrados a 2, 5 y 8 m de altura dentro de las parcelas y sus desvíos estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p=0,05$).

Los índices DSF y Vis Sky aumentaron sus valores en las mayores distancias de plantación, sin diferenciarse entre tratamientos (Tabla 2.7) ni en las tres alturas del canopeo analizadas (Tablas 2.8). Contrariamente los índices GndCover y LAI efectivo disminuyeron en los mayores distanciamientos sin presentar diferencias significativas (Tabla 2.7), al igual que los valores encontrados en las tres alturas de medición dentro de las parcelas (Tabla 2.8).

Tabla 2.8: Media (desvío estándar) de los parámetros estructurales y microambientales obtenidos en fotos hemisféricas tomadas marzo de 2009, en los diferentes distanciamientos de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60', en cada altura de medición.

Variable	Altura de medición		
	2 m	5 m	8 m
ISF	0,47 (0,03)	0,48 (0,03)	0,47 (0,03)
DSF	0,50 (0,04)	0,51 (0,03)	0,51 (0,04)
GSF	0,50 (0,03)	0,50 (0,03)	0,50 (0,04)
GndCover	0,11 (0,12)	0,11 (0,11)	0,12 (0,12)
LAI efectivo	1,11 (0,11)	1,10 (0,11)	1,10 (0,12)
PAR	2,02 (0,15)	2,00 (0,12)	2,00 (0,13)
Vis Sky	0,32 (0,02)	0,32 (0,03)	0,32 (0,03)
LAI Dev	0,70 (0,16)	0,69 (0,16)	0,65 (0,17)

Tabla 2.9: Coeficiente de correlación de a pares y sus probabilidades asociadas entre variables productivas, dasométricas, morfológicas y microambientales promedio de los 4 distanciamientos de plantación analizados en los estaqueros de *Populus deltoides* "Australiano 106/60" al tercer año de edad de plantación. En la tabla solo figuran las correlaciones estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

	Distancia	Biomasa total	DAP (cm)	Ht (m)	Indice de Sinuosidad	Coeficiente de esbeltez	ISF	DSF	GSF	LAI Dev	AFE
Biomasa total	0,98 (p=0,02)										
DAP (cm)	0,98 (p=0,02)	0,99 (p=0,01)									
Ht (m)	0,98 (p=0,02)	1 (p<0,0001)	0,99 (p=0,01)								
Volumen		0,97 (0,03)		0,97 (0,03)							
Indice de sinuosidad			-0,97 (p=0,03)	-0,98 (p=0,02)							
Coeficiente de esbeltez	-0,99 (p=0,01)	-0,97 (p=0,04)	-0,98 (p=0,03)	-0,97 (p=0,04)	0,96 (p=0,04)						
ISF		0,99 (p=0,001)	0,99 (p=0,001)	0,98 (p=0,02)	0,97 (0,03)						
DSF	0,95 (0,05)	0,96 (0,04)	0,99 (0,01)	0,96 (0,04)		-0,97 (p=0,03)					
GSF	0,95 (p=0,05)	0,96 (p=0,04)	0,99 (p=0,01)	0,96 (p=0,04)		-0,97 (p=0,03)	0,97 (p=0,03)	1 (p<0,0001)	0,99 (p=0,01)		
PAR	-0,95 (p=0,05)	-0,95 (p=0,05)	-0,98 (p=0,01)	-0,95 (p=0,05)		0,97 (p=0,03)	-0,97 (p=0,03)	-1 (p=0,003)	-1 (p=0,003)		
Gndcover		-0,96 (p=0,04)	-0,97 (p=0,03)	-0,97 (p=0,03)	0,99 (p=0,01)	0,98 (p=0,03)	-0,99 (p=0,02)	-0,94 (p=0,06)			
Visky							0,95 (p=0,05)				
AFE									0,95 (p=0,05)		
Peso hoja											-0,95 (p=0,05)

2.4 DISCUSION

Los resultados obtenidos confirman en general la primera hipótesis planteada en el sentido que “una mayor luminosidad en el estaquero, tiene una incidencia directa en las dimensiones de las guías producidas”. En el ensayo se registró una correlación positiva y significativa entre el índice ISF (proporción de la radiación solar indirecta hacia el suelo forestal) con la biomasa total, el DAP y la Ht promedio y con el índice de sinuosidad; diferencias significativas entre los índices DSF (proporción de la radiación solar directa hacia el suelo forestal), GSF (radiación solar total= directa + difusa) y PAR (radiación fotosintéticamente activa) y el distanciamiento ($p=0,05$), y además una correlación positiva significativa entre los índices DSF y GSF (promedio de los cuatro tratamientos) con el distanciamiento, la biomasa total promedio, el DAP promedio y en la Ht promedio, y significativamente negativa con respecto al coeficiente de esbeltez y el valor PAR. Es decir que los mayores distanciamientos presentarían una respuesta positiva en el DAP promedio y Ht promedio, así como una mayor proporción de la radiación solar directa y total hacia el suelo del estaquero, y además los más bajos y en consecuencia mejores coeficientes de esbeltez de los cuatro distanciamientos analizados. Por su parte la fracción de suelo cubierta por el dosel forestal (índice Gndcover) presentó una correlación positiva y significativa con el índice de sinuosidad y el coeficiente de esbeltez y significativa y negativa con la biomasa total, DAP promedio y Ht promedio. En el ensayo en el estaquero, la variabilidad aumentó con la densidad y con la edad de las guías, y fue disminuyendo en los mayores distanciamientos, este dato es importante en la práctica, los distanciamientos mayores proporcionan guías más homogéneas en sus dimensiones que en los menores, lo cual tendrá una incidencia positiva en la homogeneidad de los rodales. Según Cannel (1999), la variabilidad en la productividad puede estar dada por las diferencias en la cantidad de radiación absorbida por la copa, por la eficiencia con que la energía absorbida se convierte en biomasa o por ambos factores. Por otra parte, todas las condiciones que favorecen la fotosíntesis, y en consecuencia la producción de carbohidratos, aumentan la capacidad de enraizamiento de los materiales de propagación (Molnar y Culmning, 1968).

Los resultados confirman igualmente la segunda hipótesis planteada en el sentido que “la acumulación de biomasa, las dimensiones de las guías, su rectitud y esbeltez, el área foliar y el área foliar específica en el estaquero de *P. deltooides* “Australiano 106/60”, están directamente relacionados con el distanciamiento de plantación”. En el ensayo, la acumulación de la biomasa total promedio de cada guía fue 3,2 veces mayor en el distanciamiento 1,2x1,2 m; 2,6 veces en 1x1 m y de 1,4 veces en 0,8x0,8 m, respecto del menor distanciamiento (0,6x0,6 m). En los mayores distanciamientos, la mayor disponibilidad de recursos en cada planta (radiación solar, agua y nutrientes) determinó posiblemente la mayor acumulación de biomasa total, distribuyendo más biomasa hacia los componentes aéreos (hojas y tallos) que en los distanciamientos más estrechos. Es también factible que la mayor partición de biomasa al desarrollo radicular en detrimento de la parte aérea observada en los distanciamientos menores de nuestro ensayo, tenga relación con mecanismos de evitación de sequía como son entre otros, la reducción del número de ramas y de hojas (Ciría *et al.*, 2002) en el cual los sistemas radicales bien desarrollados le permiten a la planta mantener altos potenciales hídricos (Turner, 1979). Estos resultados son concordantes con la teoría de la asignación óptima de biomasa, propuesta por Thornley (1969), la cual sugiere que las plantas destinarían mayor proporción de biomasa hacia aquellos órganos que se

encuentren cosechando el recurso más limitante, y con lo expresado por Tschaplinski *et al.*, (1998), quienes mencionan para condiciones de sequía moderada, una mayor resistencia a la sequía en clones que realizan una mayor inversión de carbono en las raíces. Esto nos permite responder y entender como se acumula y particiona la biomasa aérea y subterránea de las guías en diferentes distanciamientos. En cuanto a la homogeneidad de las guías producidas en el estaquero, se observa que la variabilidad en sus dimensiones aumenta con la densidad y con la edad de las mismas, y va disminuyendo en los mayores distanciamientos. Este dato es muy importante en la práctica ya que los distanciamientos mayores proporcionarían guías más homogéneas en sus dimensiones que los menores distanciamientos, lo cual tendría consecuentemente una incidencia positiva en la homogeneidad de los rodales que originen. Respecto a qué edad y a qué distancia de plantación se producen guías más rectas (las cuales son más seguras frente a daños mecánicos en la instalación de un SSP), los resultados demuestran que las mayores distancias “actuaron positivamente en relación a su rectitud y estabilidad”; se encontró además una correlación negativa significativa entre las densidades y el índice de sinuosidad y el coeficiente de esbeltez promedio, las guías más rectas, cónicas y en consecuencia más estables contra posibles daños que puedan ocasionar fuerzas mecánicas externas como las que podría producir la presencia del ganado vacuno en un SSP, se obtendrían en los distanciamientos mayores. Según el Conaf-Infor (1997); Sanhueza (1998); Ulloa (2004) y Sotomayor (2009), en SSP bajo plantaciones de álamo de Chile, implantadas con guías de dos años de edad como material de propagación, el ganado vacuno ingresa a la plantación recién al 4^{to}, 5^{to} ó 6^{to} año, cuando los árboles adquieren un DAP que no resulta dañado por los animales. Esto confirma la importancia de la resistencia que deben tener los materiales de propagación al momento de instalar un SSP con ganado vacuno. En contraposición, Larocque (1999), Ciria *et al.*, (2002), Sixto *et al.* (2007) y Cañelas (2012), señalan que en las plantaciones más densas, si bien se incrementa la producción de biomasa por unidad de superficie (como se observa en Tabla 2.5) debido a un cierre rápido de copas y a la ocupación total del espacio, reducen el DAP medio y el número de ramas y hojas promedio. Por otra parte, la capacidad de fotosíntesis de las plantas está directamente relacionada con la superficie foliar expresada como índice de área foliar (IAF) (Kozlowsky *et al.*, 1991; Leopold y Kriedemann, 1975). El IAF relaciona la extensión del follaje por unidad de superficie (Perry, 1994; Cherry *et al.*, 1998; Smethurst *et al.*, 2003), y es considerado un buen indicador de la capacidad de la copa para absorber la radiación fotosintéticamente activa (Perry, 1994), siendo además uno de los parámetros más útiles para caracterizar la vegetación. Su determinación tiene gran importancia en los estudios relacionados con el crecimiento y desarrollo dado que en las hojas se sintetizan los carbohidratos que van a repartirse en los diferentes órganos. En nuestro ensayo, si bien los resultados indican la no existencia de una relación directa entre el AF, el AFE (AF/peso seco) y la acumulación de biomasa en las diferentes distancias de plantación analizadas (Tabla 2.9), sí AFE y pecíolos más largos que los de la parte inferior y menos soleada de la copa. Niinemets *et al.* (2004) consideran que las hojas que poseen pecíolos más largos y hojas más grandes interceptan más eficientemente la luz. Por otro lado, el AFE está fuertemente ligada al crecimiento de las plantas y es considerada una de las principales características competitivas (Reich *et al.*, 1992) tanto a nivel individual como ecosistémico (Reich *et al.*, 1997), pudiendo explicar esta variable hasta un 80% de las diferencias en tasa de crecimiento de diferentes especies (Villar *et al.*, 2004). La cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada por la copa depende, según Cannell (1989) principalmente del área foliar;

en nuestro caso, el mayor AF se encontró en las hojas del tercio superior de las guías del ensayo y no presentó diferencias significativas entre los cuatro distanciamientos. Para Pellis *et al.* (2004); Zhang *et al.* (2004) y Marrón *et al.* (2005), el AFE y el número de hojas se correlacionan con la productividad. En nuestro caso, si bien no se encontraron diferencias significativas en el AFE de cada distanciamiento de plantación, si la hubo en la biomasa de hojas totales de la guía individual promedio entre los dos distanciamientos mayores y los dos menores, y en la biomasa total de las guías individuales producidas en los diferentes distanciamientos de plantación (Tabla 2.9). En el ensayo, la biomasa total de las guías promedio, la biomasa foliar promedio y el AFE promedio decrecieron significativamente con el aumento de la densidad de la plantación, en cambio en los mayores distanciamientos (1x1 y 1,2x1,2 m) dichos valores fueron significativamente superiores (Tabla 2.5). En forma similar, estudios realizados por Larocque (1998) en un híbrido de *Populus deltoides x nigra*, la biomasa foliar disminuyó significativamente cuando aumentó la densidad de plantación. En ensayos de álamo para bioenergía, Cañelas *et al.* (2012) mencionaron que, al final del primer año, la producción de biomasa difiere significativamente entre sitios y densidades de plantación. Después del 1^{er} año de crecimiento la producción de biomasa por unidad de superficie se incrementó exponencialmente con la densidad de la parcela. Sin embargo, después del tercer año, al final de la primera rotación, no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento, y al igual que en nuestro caso, la mayor producción de biomasa por superficie se logró en las mayores densidades de plantación. Esto explicaría en parte la relación de la estructura el microambiente lumínico sobre las variables DAP y Ht en cada distanciamiento ensayado en el estaquero. Los resultados obtenidos tienen así mismo relación con lo manifestado por Concuera *et al.* (2005), en que una menor competencia en el estaquero por luz, agua y nutrientes incide directamente en el rendimiento en diámetro, altura y biomasa total como ocurre en este ensayo.

2.5. CONCLUSIONES

La acumulación y partición de la biomasa de guías en los estaqueros presentaron diferencias significativas siendo directamente proporcional a las distancias de plantación. En este sentido los mayores distanciamientos suministraron al tercer año de edad, guías de mayores dimensiones, biomasa total promedio y menor índice de sinuosidad y coeficiente de esbeltez, en microambientes caracterizados por presentar una mayor proporción de la radiación solar directa y total y una menor radiación fotosintéticamente activa.

De los resultados se desprende que para instalar un SSP en el bajo Delta del Paraná, las guías de dos y tres años de edad de *Populus deltoides* “Australiano 106/60”, producidas a distanciamientos mayores que los habituales en la región (1x1 m y 1,2x1,2 m), por su mayor acumulación de biomasa aérea, rectitud, conicidad y estabilidad frente a daños mecánicos facilitarían el ingreso anticipado del ganado vacuno al sistema.

CAPÍTULO 3: Efecto del pastoreo sobre guías de álamo de distintas edades en Sistemas Silvopastoriles.

3.1 INTRODUCCIÓN

El establecimiento de un SSP requiere estrategias de manejo no utilizadas en las monoculturas tradicionales. La combinación del tamaño de árboles y la palatabilidad de los mismos puede determinar el éxito en la instalación del sistema, donde las especies forestales palatables requieren mayor protección que las no palatables (Eason *et al.*, 1996; McAdams, 2003). En este sentido, el hecho de que los álamos sean especies muy palatables para el ganado (Lefroy *et al.*, 1992; Taranaki, 2001) plantea un problema en la instalación de un SSP, que se refleja en un incremento en el costo de establecimiento (Carvalho *et al.*, 2003). Además, la susceptibilidad de daño por parte de animales sobre los árboles implantados en un SSP se relaciona inversamente con la disponibilidad y calidad del forraje del sotobosque (Simón *et al.*, 1998).

En la bibliografía se describen diferentes formas de protección de los árboles para la etapa de instalación del sistema. Mientras que Eason *et al.* (1996) estudiaron el uso de repelentes químicos, otros autores usaron tubos plásticos, mallas metálicas y/o cercos de alambre electrificado como método de protección mecánica, o herbicidas y/o polietileno negro alrededor de los árboles (mulching) para minimizar la competencia con las malezas, o abonos y fertilizantes para acelerar el crecimiento inicial de los árboles en el SSP (Benfeld *et al.*, 2001; Sharrow *et al.*, 2001; Lehmkuhler *et al.* 2003; Fike *et al.* 2004; Novak y Long 2003; Shibu, 2012). En este sentido, el conocimiento sobre el establecimiento de SSP es limitado (Peri, 2006).

En este capítulo se evalúa la plantación de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad en un SSP con el fin de acelerar el ingreso del ganado vacuno al sistema. Existen antecedentes de ingresos de ganado vacuno al tercer año cuando se utilizan guías enraizadas de uno y dos años de edad (Suárez y Borodowski, 1999) o guías sin raíz de dos años de edad (Ulloa y Villacura, 2005). Los diámetros que pueden alcanzar guías de *P. deltoides* de uno, dos y tres años de edad, sin raíz (Casaubón, 2003) y su facilidad de enraizamiento, permiten plantear la hipótesis de que las guías pueden acelerar el ingreso de ganado vacuno al SSP, sin necesidad de utilizar una protección individual en cada árbol, minimizando así los costos de instalación del sistema.

3.1.1 OBJETIVO e HIPÓTESIS

El objetivo del presente capítulo fue:

Determinar el efecto del tamaño y/o edad de las guías sobre el crecimiento del componente arbóreo y la sensibilidad al daño de las mismas bajo pastoreo de ganado bovino, en un SSP de *P. deltoides* `Australiano 106/60`.

Se respondieron las siguientes preguntas:

- ¿Varía el crecimiento de los árboles provenientes de guías de diferentes edades?
- ¿Cómo inciden las características del pastizal natural (disponibilidad de MS y composición florística) en el daño y crecimiento guías de *P. deltoides* `Australiano 106/60`?

Se plantearon tres hipótesis:

En un SSP de *Populus deltoides* `Australiano 106/60`:

1. Árboles originados de guías, presentan buen prendimiento y desarrollo volumétrico.
2. El daño del ganado a los árboles se relaciona inversamente con la edad y el tamaño del material de propagación y con la abundancia de pasturas de calidad.
3. Hojas y ramitas tiernas de árboles, constituyen un buen complemento de la dieta alimentaria ganadera.

3.2 MATERIALES Y METODOS

3.2.1 Sitio de plantación: El estudio se llevó a cabo en un SSP de *Populus deltoides* `Australia 106/60` de 2,5 ha de superficie, plantado con guías de 1, 2 y 3 años de edad distanciadas 6x6 m entre filas y entre plantas, en un área endicada de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en la 4° Sección de Islas del Bajo Delta Bonaerense. La ubicación geográfica del ensayo es la siguiente: Punto 1: 34° 09'53,3" LS y 58° 51'26,3" LO; el Punto 2: 34° 09'55,8" LS y 58° 51' 28,3" LO; el Punto 3: 34° 09'48,3" LS y 58° 51'35,6" LO y el Punto 4 34° 09'57,5" LS y 58° 51' 37,5" LO.

3.2.2 Preparación del terreno y labores culturales previas a la plantación: El ensayo se instaló en un terreno típico de "bañado endicado" que durante muchos años no fue ocupado por forestación ni cultivo de ningún tipo. El lote se sistematizó en el año 2005 mediante la construcción de un dique perimetral de aproximadamente 5 metros de altura, canales de desagüe de aproximadamente 1 m de profundidad, 3 m de ancho y 50 m de largo, y la construcción de zanjas de drenaje de 350 m a 400 de largo, 1 m de ancho y 0,80 m de profundidad, cada 50 m, para facilitar el escurrimiento superficial del agua de lluvia. En febrero-marzo de 2006, se aplastó e incorporó al suelo (a una profundidad de 0,15 m) la vegetación natural espontánea presente en el lugar (compuesta principalmente por *Carex riparia*, *Cyperus sp.*, *Polygonum hydropiperoides*) utilizando una rastra de discos de tiro desencontrado. Posteriormente se observó la aparición de otras especies tales como: *Ranunculus bonariensis*, *Phalaris angusta*, *Cirsium vulgare*, *Coniza sp.*, *Rubus sp.*, *Deyeuxia sp.*, *Juncus sp.*, *Amorpha fruticosa*, *Lolium multiflorum*, *Eryngium sp.*, *Berbena bonariensis*, *Solanum sp.*, *Cortaderia selloana*, *Paspalum urvillei*, *Quenopodium sp.*, *Leersia hexandra*, *Sonchus oleraceus*, *Cyperus giganteus*, *Cyperus bonariensis*, *Gamochoeta sp.*, *Erechtites sp.*, *Taraxacum officinale*, *Scyrpus californicus*, *Scyrpus giganteus* y *Rynchospora sp.*

3.2.3 Manejo del agua: La disponibilidad de agua dentro del SSP se logró mediante la instalación de un sistema de bombeo que facilitó el ingreso del agua en épocas de escasez y agua alta del río, y el egreso en épocas de excesos, por ejemplo después de abundantes precipitaciones. Este sistema facilitó además el movimiento del agua dentro de los canales y zanjas de drenaje, evitando su estancamiento en el terreno.

3.2.4 Origen de los materiales de multiplicación: Como material de multiplicación se utilizaron guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad de *P. deltoides* 'Australiano 106/60', provenientes de estaqueros comerciales de la empresa forestal EDERRA S.A. instalados todos ellos en un terreno endicado, a un distanciamiento entre cepas madres de 0,50 x 0,80 m. Los estaqueros fueron observados durante la temporada estival a efectos de constatar fenológicamente su homogeneidad varietal e identificación clonal.

3.2.5 Diseño experimental e instalación del ensayo: El diseño estadístico utilizado fue el de bloques completos aleatorizados (DBCA) con 6 repeticiones. Debido a la existencia de un gradiente de altura del terreno y de disponibilidad de agua se generaron 6 bloques en forma perpendicular al mismo. Los tratamientos fueron: T1, testigo, permaneció sin animales; T2, tuvo 18 vaquillonas de cría (carga animal instantánea de 12 animales por hectárea) de raza Aberdeen Angus de aproximadamente 300 kg. de peso, pastando el lugar, e ingresando 18 meses después de la plantación.

Dentro de cada tratamiento principal (T1 y T2) se asignaron los 3 materiales de propagación: G1, G2 y G3. Para evitar el efecto de los micrositos se aleatorizó el tipo de material utilizado cada vez que se plantaba una guía. En el mes de Julio de 2006 se marcó el terreno y se abrieron a pala hoyos de un metro de profundidad y 0,20 m de diámetro. Las guías de 1, 2 y 3 años se acondicionaron en el estaquero y se marcaron en el terreno con pintura a 0,80 m de distancia desde la base para garantizar una homogeneidad en la profundidad de plantación de todo el ensayo. Cada lote del ensayo estuvo compuesto por 6 parcelas (repeticiones) de 0,25 ha cada una. En cada una de ellas se plantaron 64 guías (sin raíz) de un mismo clon de 1, 2 y 3 años de edad en forma aleatoria (y aproximadamente balanceada, entre 21 y 22 guías de cada edad por parcela), a una distancia de 6x6 m entre plantas. Con el fin de caracterizar las guías plantadas luego de tres meses de efectuada la plantación se midieron con cinta dendrométrica el diámetro a la altura del pecho (DAP, 1,30 m) y la altura total Ht con una vara de fibra de vidrio de todos los individuos del ensayo (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Descripción de las variables diámetro (DAP) y altura total (Ht) registradas en guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad *P. deltoides* "Australiano 106/60" en el momento de plantación.

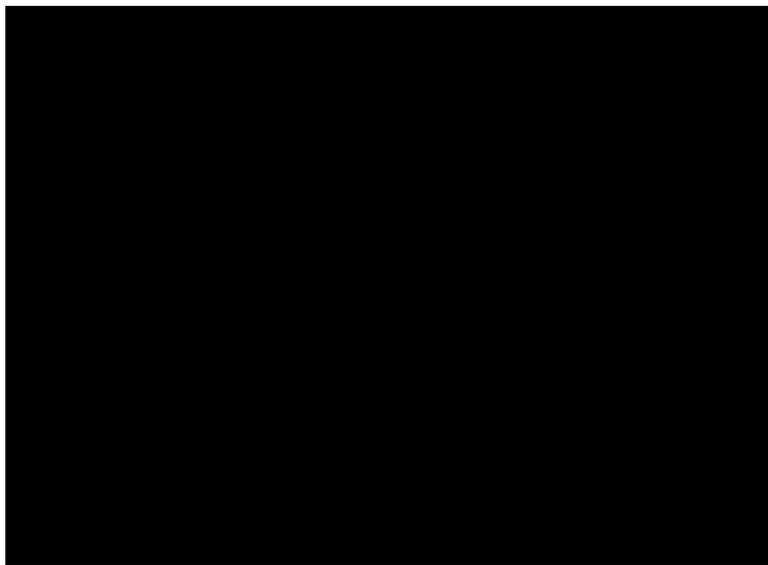
DAP (cm)	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
G1	254	2,8	0,40	14,3	0,73	5,09
G2	262	4,6	0,88	19,2	1,97	7,45
G3	252	5,1	1,28	25,1	2,9	8,94

Ht (m)	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
G1	254	4,25	0,43	10,1	3,45	6,19
G2	262	7,30	0,96	13,2	3,89	10,25
G3	252	7,84	1,32	16,9	4,92	10,73

3.2.6 Labores culturales post plantación: Para facilitar el acceso y favorecer la aparición de especies de valor forrajero (*Phalaris angusta*, *Brommus catharticus*, *Lolium multiflorum* y otras), en noviembre de 2006, se hizo un control de la vegetación natural presente en el ensayo utilizando nuevamente una rastra de discos de tiro desencontrado. La profundidad de laboreo no superó los 0,15 m de profundidad.

3.2.7 Características de los suelos: En el centro de cada bloque (n=6) del ensayo se abrió una calicata de un metro de profundidad y se tomaron muestras de las diferentes capas de suelos presentes. En laboratorio se determinó: Textura, utilizando la técnica de sedimentación por el método de la pipeta de Robinson para las fracciones arcilla y limos, y tamizado en seco para las arenas (USDA,1992); Carbono orgánico en %, utilizando una técnica de calcinación (Read y Ridgell, 1921), Nitrógeno en %, por el método de macro Kjeldahl (Bremmer, 1960); Fósforo extractable en HCL-NH₄F (ppm), por el método de Bray n° 1 (Bray y Kurtz, 1945); Calcáreo en %, por el método del calcímetro volumétrico de Scheibler (Collins, 1906); Equivalente de humedad en %, por el método de la centrífuga a 1000 g. (Briggs y Mc Lane, 1907). Conductividad eléctrica, por el método conductimétrico en (mS/cm) (Richards, 1954). pH, en pH en agua, y pH en 1N KCl, por el método potenciométrico (Richards, 1954); Cationes de cambio Ca, Mg, por espectrofotometría de absorción atómica, expresado en m.e./100g; Cationes de cambio Na y K, por fometría emisión atómica, en m.e./100g; Capacidad de intercambio catiónico, por saturación con AcNH₄ (Peech *et al.*, 1947); Porcentaje de sodio de intercambio (PSI), se calculó como grado de saturación con sodio del complejo de intercambio (FAO. 1984). Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: *Características físico-químicas de suelos (n=6) y sus desvíos estándar correspondientes al ensayo realizado en un área endicada de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).*



3.2.8 Mediciones biométricas: Durante los tres primeros años se midió anualmente el DAP y la Ht de cada árbol vivo del ensayo. Para medir DAP se utilizó siempre una cinta dendrométrica y para medir la Ht una vara de fibra de vidrio. En cada bloque se seleccionaron 3 árboles promedio de tres años de edad, uno originado de G1,

uno de G2 y uno de G3; 18 árboles promedio en total (3x6). Se excluyeron en este análisis plantas secas y/o que habían sido muy dañadas por el ganado vacuno.

3.2.9 Evaluación del impacto del ganado sobre las guías (G1, G2 y G3): Se analizó el ingreso de animales al sistema en dos oportunidades, en el mes de diciembre de 2007 y en el mes de enero de 2008, el último en las 6 parcelas que habían sido asignadas originalmente como parcelas testigo (T1). Tanto en el primero como en el segundo ingreso, los animales permanecieron 15 días en las parcelas. Se comparó entre tratamientos el porcentaje de plantas dañadas por el ganado bovino (cortezas dañadas). La evaluación se efectuó a través de un análisis de frecuencia utilizando una prueba de homogeneidad de χ^2 . Para analizar el efecto del daño de los animales sobre el diámetro de los árboles de los tres materiales de plantación, se realizó un Modelo Lineal General Mixto (R Development Core Team, 2004) utilizando el programa InfoStat. Para determinar el modelo que mejor ajusta al grupo de datos analizados se utilizaron los criterios de Akaike (AIC) y el Criterio Bayesiano de Información (BIC). La variable respuesta utilizada fue el DAP promedio de los árboles de cada parcela con daño. Se incorporaron como factores fijos al tipo de material de plantación (3 niveles: G1, G2 y G3) y el estado de los árboles (2 niveles: con y sin corteza), y como factor aleatorio a la parcela. Debido a que los animales dañaron a los árboles en forma diferente según la edad de la guía y que en algunas parcelas no se registraron daños sobre todos los materiales de plantación (parcelas que componían los bloques 2, 5 y 6 no fueron dañados por los animales ni en el primer ni en el segundo ingreso), los datos de la variable daño se analizaron como bloques incompletos. Los Modelos Lineales Generales y Mixtos, estiman los parámetros a partir del método de máxima verosimilitud que permite trabajar con diseños desbalanceados e incompletos. La normalidad de los residuos fue verificada en forma gráfica (Q-Q plot) y la homogeneidad de varianzas a partir del gráfico de residuos estudentizados vs predichos (InfoStat, 2008).

3.2.10 Muestreo de hojas de *Populus deltoides*: En octubre y diciembre de 2009 y a fines del mes de marzo de 2010 se tomaron 18 muestras de 50 gramos de hojas, en tres árboles por parcela originados a partir de guías de diferente edad. Se determinó peso húmedo (PH), las muestras se llevaron a estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante y se determinó su materia seca (MS), FDA (fibra detergente ácido), FDN (fibra detergente neutro, y PB (proteína bruta). El valor de DE (digestibilidad estimada) se calculó utilizando la fórmula: $88,9 - (0,779 \times \% \text{ promedio de FDA})$ (Ustarroz *et al.*, 1995). Se determinaron los macrominerales Ca (calcio), Mg (magnesio), P (fósforo) y K (potasio). Los valores resultantes de FDA, DE, FDN, PB y de macrominerales se analizaron estadísticamente a través del análisis de varianza para un DBCA y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$). Se corroboró el cumplimiento de los supuestos.

3.2.11 Biomasa en árboles: Al tercer año de instalación del ensayo se midió la biomasa total de un árbol promedio originado de cada uno de los tres materiales de multiplicación G1, G2 y G3 de cada repetición del ensayo. Los valores de peso seco por cada compartimiento en los que se dividía la biomasa se obtuvieron aplicando técnicas de análisis dimensional (Whittaker & Woodwell, 1968).

3.2.11.1 Biomasa aérea en árboles: La toma de muestras se realizó de la siguiente manera: 1) Se voltearon los árboles promedio, el corte se hizo a 20 cm del suelo, aproximadamente. 2) Desrame y trozado: los árboles se dividieron en sus componentes, fuste, ramas gruesas, ramas finas y hojas. 3) Toma de muestras de cada componente y determinación de su peso húmedo: se tomaron 3 muestras de cada componente (aproximadamente un 20% de su peso total), y se obtuvieron los siguientes datos: fuste con corteza, fuste sin corteza, corteza, ramas mayores de 5 cm de diámetro, ramas mayores de 1 cm de diámetro, ramas menores de 1 cm de diámetro y hojas, y se determinó su peso húmedo. 4) Determinación del peso de la biomasa de ramas y hojas: se separaron las ramas gruesas de las ramas finas y de las hojas; la biomasa de ramas y de hojas se pesaron por separado. 5) Secado de las muestras: en laboratorio se secaron las muestras en estufa a 70°C hasta peso constante.

3.2.11.2 Biomasa subterránea (raíces): el procedimiento de excavación y extracción de raíces fue el siguiente. 1) Se identificó el área de remoción de suelos; se extrajo el suelo superficial visualizando la zona de mayor desarrollo de raíces (finas, medianas y gruesas). 2) Para separar la biomasa de raíces gruesas realizando el menor esfuerzo de tracción posible, se desprendieron las mismas del suelo con la ayuda de una retroexcavadora, amarrando mediante una soga el tocón del árbol al balde de la máquina y traccionando suavemente. Utilizando además palas de puntar, palas anchas, y rastrillos de mango largo y de mango corto, se excavó el área de desarrollo de las raíces, separando las raíces principales del suelo. 3) En forma manual se fue separando el suelo adherido a la raíz antes de llevarlas a la balanza. 4) Para identificar la raíz principal, se separó el tocón de la raíz utilizando una motosierra de espada corta. Al tocón se lo consideró posteriormente, parte del fuste y al trozo de guía enraizado como parte de la raíz. 5) Para pesar la raíz se separaron las raíces delgadas y medias utilizando una tijera de podar y las raíces gruesas mediante el uso de una motosierra de espada corta. Se pesaron por separado raíces mayores de 5 cm de diámetro, raíces mayores de 1 cm de diámetro y raíces menores de 1 cm de diámetro. 6) Se tomaron al azar 3 submuestras de 250 gr de peso cada una, de cada tipo de raíz y se llevaron a estufa a 70°C hasta peso constante.



Foto 3.1: Extracción de raíz de árbol de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60', de tres años de edad, originado de guía.

3.2.12 Biomasa aérea del sotobosque: Previo al ingreso del ganado vacuno a las parcelas (11 de enero de 2008), 10 días posteriores al egreso de los mismos (05/02/08) y posteriormente cada mes desde septiembre de 2008 hasta agosto de 2009 se realizó un relevamiento de la composición de la vegetación espontánea que conforma el pastizal natural del sistema silvopastoril, a fin de describir la situación inicial y su posterior evolución. Se tomaron aleatoriamente 60 muestras de 0,25 m² de superficie (10 muestras por parcela), y se registraron datos de cobertura y abundancia según el método de Braun-Blanquet (1979). Se calcularon las medidas de riqueza numérica de especies de cada muestreo (Krebs, 1989). Los índices de riqueza y diversidad ofrecen un modo alternativo para describir relaciones de abundancia de especies en la comunidad, permitiendo además ser usados con fines comparativos (Fernández, 1997).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener, como una medida de dominancia-uniformidad (Krebs, 1989), fue seleccionado por su buena capacidad discriminatoria y por su facilidad de cálculo (Fernández, 1997). Se usó la fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

donde:

- S – número de especies (riqueza de especies)
- p_i – proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i): n_i/N
- n_i – número de individuos de la especie i
- N – número de todos los individuos de todas las especies

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (*riqueza de especies*), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (*abundancia*). Este índice mide la biodiversidad y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas varía entre 1 y 5. Con fines comparativos, se usó el índice de Jaccard (Krebs, 1989) basado en el grado de similitud

entre las muestras por la presencia-ausencia de las especies. Este índice se calcula mediante la fórmula:

$$I_j = a/a+b+c$$

donde “a” es el número de especies compartidas, es decir que aparecen en ambas muestras y “b” y “c” corresponden al número de especies en cada una de las muestras (Krebs, 1989). Este índice varía entre 0 y 1. Valores bajos del índice indica la presencia de pocas especies en común.

Los valores medios de las pasturas naturales muestreadas a campo antes y después del ingreso de los animales, se compararon mediante un Análisis de la Varianza (ANOVA) de dos factores con un factor de medidas repetidas (Tiempo), con dos niveles (antes y después del ingreso del ganado) medidos sobre la misma parcela (medida repetida), y el otro factor (Daño) con dos niveles (parcelas con y sin daño). Las variables respuesta cambian según la tabla: *Carex riparia*; *Coniza bonariensis*; *Polygonum hidropiperoides*; MS/ha; Suelo desnudo; hojarasca.

3.2.14 Determinación de las especies de interés forrajero: Para complementar la información se registró en cada lote el grado de pastoreo de las diferentes especies presentes en las parcelas utilizando una escala relativa que va desde el “0” al “4”, donde “0” nunca fue pastoreada; “1” Eventualmente despuntada o pastoreada en forma leve; “2” pastoreada levemente o eventualmente con mediana intensidad; “3” siempre pastoreada con mediana intensidad a muy pastoreada eventualmente, y “4”, siempre muy pastoreada.

3.2.15 Características nutritivas de pasturas naturales: Cada una de las muestras de pastos recolectadas a campo, se cortaron al ras del suelo, se colocaron dentro de una bolsa de papel, se pesaron en una balanza de precisión y se llevaron a estufa a 60 °C hasta peso seco constante para cálculo en gramos de Materia Seca (MS). Posteriormente se determinó su valor nutritivo en el Laboratorio. Los análisis realizados fueron los siguientes: Proteína Bruta (PB%), Fibra Insoluble en Detergente Acido (FDA %) y Fibra Insoluble en Detergente Neutro (FDN%). Con los valores obtenidos de FDA se estimó la digestibilidad en base a la siguiente fórmula: $88,9 - (0,779 \times \%FDA)$ (Ustarroz et al., 1995). Se obtuvieron estadísticas descriptivas como medidas de posición y desviación estándar para todas las variables citadas para caracterizar el pastizal natural.

3.2.16 Calidad forrajera de las hojas de álamo vs. pastizal natural en la temporada estival: Los valores medios de PB, FDA, DE y FDN de las pasturas naturales vs. las hojas de álamo muestreadas a campo en los meses de Octubre, diciembre y Marzo, se compararon mediante un Análisis de la Varianza (ANOVA) de dos factores: un factor (Tipo de forraje), con dos niveles (pastura y hoja de álamo), y el otro factor (Temporada) con tres niveles (Octubre, Diciembre y Marzo).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Biometría: El prendimiento de los diferentes materiales de propagación utilizados fue de un 100%. Luego de tres años de instalado el ensayo, el mayor incremento en DAP y Ht correspondió a las guías que en el momento de plantación tenían un año de edad (DAP 1,94 cm/año y Ht 0,92 cm/año), seguidas por las guías de

dos años (DAP 1,55 cm/año y Ht 0,34 cm/año) y por último las guías de tres años de edad (DAP 1,12 cm/año y Ht 0,18 cm/año).

No obstante eso, al tercer año desde la plantación los árboles originados de G1, presentaron menor DAP y Ht ($p \leq 0,05$) que G2 y G3 y estos no se diferenciaron entre sí ($p > 0,05$) (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Principales parámetros dasométricos promedio (\pm desvío estandard) obtenidos de las guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad de *Populus deltoides* `Australiano 106/60', al tercer año de crecimiento desde la plantación.

Árbol	N	DAP (cm)	AB (m ² .ha ⁻¹)	Ht (m)	HD (m)
G1	6	13,16 (1,33)b	0,103 (0,01)	11,59 (1,33)b	12,62 (1,03)
G2	6	14,94 (1,53)a	0,117 (0,01)	12,85 (0,59)a	13,32 (0,44)
G3	6	14,62 (0,84)a	0,115 (0,01)	12,99 (0,90)a	13,62 (0,72)

DAP: diámetro a 1,30 m de altura; AB: área basal; Ht: altura total; HD: altura dominante de G1, G2 y G3 al tercer año de plantación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).



Foto 3.2: Ingreso de vaquillonas Aberdeen Angus de 18 meses de edad al ensayo de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de *Populus deltoides* `Australiano 106/60'.

3.3.2 Evaluación del impacto del ganado sobre las guías: En el primer ingreso (del mes de diciembre de 2007) todas las ramas finas y hojas tiernas al alcance de los animales fueron consumidas en el 100% de los casos sin dañar el fuste de los árboles. Esto no ocurrió con los árboles que poseían ramas ubicadas a mayor altura (2m), mientras que en el segundo ingreso (mediados de enero de 2008) no hubo ramoneo. Otro daño fue el descortezamiento de los árboles a la altura del animal. El daño en las cortezas se detectó al décimo día posterior al ingreso de los animales a las parcelas; en ambos ingresos el porcentaje de plantas dañadas sobre el total plantado fue de un 11%. Estas diferencias (guías dañadas vs. guías sin daños en el fuste dentro de las

parcelas que recibieron el tratamiento “ingreso del ganado”) se observaron para todos los materiales de propagación utilizados (Chi2: 85,41; G1:1; P<0,05).

Tabla 3.4: Cantidad y tipo de daño ocasionado por el ganado vacuno en árboles de *Populus deltoides* ‘Australiano 106/60’ originados de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad en los dos ingresos de animales a las parcelas del ensayo silvopastoril.

Ingreso de animales en diciembre de 2007

Parcelas tratadas (6)	n de plantas totales	Número de plantas con cortezas dañadas	Número de plantas ramoneadas	Número de plantas quebradas	Número de plantas tumbadas
G1	128	40	34	0	0
G2	130	13	4	0	0
G3	126	8	19	0	0
Parcelas testigo (6)	n de plantas totales	Número de plantas con cortezas dañadas	Número de plantas ramoneadas	Número de plantas quebradas	Número de plantas tumbadas
G1	128	0	0	0	0
G2	126	0	0	0	0
G3	130	0	0	0	0

Ingreso de animales en enero de 2008

Parcelas tratadas (6)	n de plantas totales	Número de plantas con cortezas dañadas	Número de plantas ramoneadas	Número de plantas quebradas	Número de plantas tumbadas
G1	128	23	0	0	0
G2	126	0	0	0	0
G3	130	1	0	0	0



Foto 3.3 y 3.4: Diferentes tipos de daño producidos por ganado vacuno de cría en ramas de *Populus deltoides* ‘Australiano 106/60’, en un ensayo silvopastoril en el Bajo Delta del Río Paraná.

La intensidad de los daños estuvo en función del DAP (Figura 3.1) y de la edad de las guías plantadas (Figura 3.2).

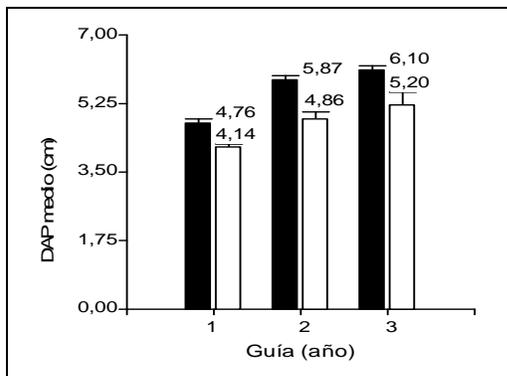


Figura 3.1: Variación del DAP medio de las plantas de *Populus deltoides* “Australiano 106/60” originadas de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad con corteza (barras negras) y descortezadas por el ganado vacuno (barras blancas).

El efecto del descortezamiento sobre el DAP medio de los árboles no difirió entre G1, G2 y G3 ($p=0,5446$). Sin embargo las plantas descortezadas por los animales presentaron un DAP medio (4,36 cm) significativamente menor ($P<0,001$) que las no dañadas (5,72 cm).

Las guías de un año (G1) (4,42 cm) presentaron un DAP menor que las de dos años (G2) (5,37 cm) y tres años (5,65 cm) de edad ($p<0,001$). En las parcelas dañadas, plantas provenientes de guías de un año fueron más descortezadas por el ganado, que las de dos y tres años ($P<0,01$) (Figura 3.4).

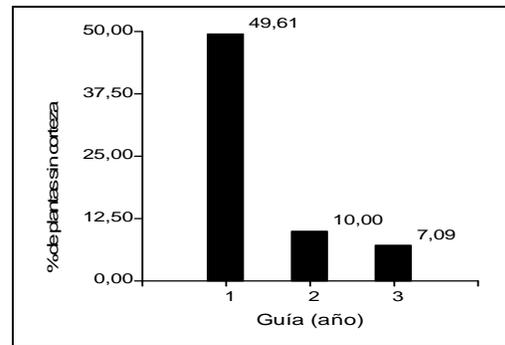


Figura 3.2: Porcentaje de daño en árboles de *Populus deltoides* “Australiano 106/60” originados de guías de uno (G1), dos (G2) y tres (G3) años de edad a los 18 meses de plantación después del pastoreo del ganado vacuno en un sistema silvopastoril en el Delta del río Paraná.



Fotos 3.5; 3.6 y 3.7: Daños producido por el ganado vacuno de cría de raza Aberdeen Angus, en la corteza de árboles de *Populus deltoides* `Australiano 106/60´ originados de guías de uno (G1), dos (2) y tres (3) años de edad, a partir de 10 días de haber ingresado al ensayo silvopastoril.

3.3.3 Biomasa aérea de árboles: Al tercer año de plantación, el peso seco total de G2 y G3 fue mayor ($p \leq 0,05$). Esto se explicó por la mayor proporción de fuste (y de corteza en G2) y de raíces gruesas (>5 cm) (Tabla 3.5).

Tabla 3.5: *Peso seco (kg.) total y por compartimiento (\pm Desvío estándar) de árboles promedio de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' de tres años de edad, originados de G1, G2 y G3, que no fueron dañados por el ganado vacuno. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre tratamientos para un mismo componente.*

Árbol	G1(n=6)	G2 (n=6)	G3 (n=6)
Fuste s/c	20,38 (5,57)b	27,14 (9,23)a	26,70 (7,76)a
Corteza	3,35 (0,80)b	4,58 (1,57)a	4,48 (1,27)ab
Ramas >1 cm	8,17 (3,76)a	9,28 (4,32)a	8,43 (2,81)a
Ramas <1 cm	2,34 (1,32)a	1,98 (0,94)a	3,21 (1,95)a
Hojas	4,10 (0,97)a	4,36 (1,81)a	4,83 (1,19)a
Raíces gruesas (>5 cm)	2,89 (1,77)c	7,47 (3,24)b	12,15 (3,43)a
Raíces medias (>1 cm)	8,71 (2,15)a	9,30 (4,02)a	10,18 (2,38)a
Raíces finas (< 1 cm)	0,67 (0,34)a	1,41 (0,68)a	1,41 (0,53)a
Total	50,64 (9,89)b	65,57 (17,73)a	73,80 (8,21)a

La mayor partición hacia la raíz ocurrió en G3 respecto de G1 ($p < 0,05$) y los árboles originados de G1 presentaron un desarrollo radicular menor (Tabla 3.6).

Tabla 3.6: *Peso seco total de raíz, tallo y la relación Raíz/Tallo (\pm desvío estándar) de árboles de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' de tres años de edad, provenientes de guías de uno (G1), dos (G2) y tres años de edad (G3). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).*

Árbol	N	Peso seco (kgr.)		
		Raíz	Tallo	Raíz/Tallo
G1	6	12,05 (1,03)b	38,59 (9,49)b	0,33 (0,07)b
G2	6	18,18 (4,04)a	47,39 (14,86)ab	0,40 (0,11)ab
G3	6	23,74 (4,90)a	50,07 (6,90)a	0,48 (0,13)a

3.3.4 Valor forrajero de las hojas de álamo: La calidad de las hojas de álamo no varió entre árboles originados a partir de guías de diferente edad ($p > 0,05$), y sí varió con el momento de cosecha ($p < 0,05$) (Tabla 3.7).

Tabla 3.7: Valores promedios (\pm desvío estandard) de materia seca (MS), fibra detergente ácido (FDA), digestibilidad estimada (DE), fibra detergente neutro (FDN) y proteína bruta (PB) expresados en porcentaje (%) en hojas de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' originados de guías de uno, dos y tres años durante el período vegetativo 2009/10. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre meses.

Mes	MS%	FDA %	DE %	FDN %	PB %
Octubre	20,17 \pm 2,55 ^a	32,31 \pm 5,05 ^a	63,73 \pm 3,94 ^b	50,90 \pm 5,89 ^{ab}	30,26 \pm 2,07 ^a
Diciembre	36,59 \pm 1,04 ^b	27,65 \pm 3,39 ^b	67,36 \pm 2,64 ^a	48,71 \pm 2,69 ^b	15,71 \pm 2,44 ^b
Marzo	42,3 \pm 1,05 ^c	34,50 \pm 3,89 ^a	62,02 \pm 3,03 ^b	53,31 \pm 2,47 ^a	16,52 \pm 2,01 ^b

El % MS fue incrementándose desde octubre a marzo ($p < 0,05$) (Tabla 3.7). Los mayores ($p < 0,05$) valores de FDA correspondientes a las muestras de hojas tomadas a campo en octubre y en marzo respecto a las de diciembre, se correspondieron con menores ($p < 0,05$) valores de DE. Por otra parte, mientras que los valores más altos ($p < 0,05$) de FDN correspondieron al mes de marzo, la PB fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en octubre.

Tabla 3.8: Concentración de macrominerales (Ca, Mg, K y P) (\pm desvío estandard) en hojas de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' durante el período vegetativo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre meses.

Mes	Ca% (gr/100gr)	Mg % (gr/100gr)	K % (gr/100gr)	P (mg/kg)
Octubre	0,69 \pm 0,17 ^b	0,49 \pm 0,10 ^{ab}	1,95 \pm 0,24 ^a	500 \pm 123,34 ^a
Diciembre	1,09 \pm 0,37 ^a	0,45 \pm 0,14 ^b	0,96 \pm 0,31 ^b	183,64 \pm 21,49 ^b
Marzo	0,76 \pm 0,23 ^b	0,56 \pm 0,10 ^a	1,07 \pm 0,33 ^b	176,94 \pm 23,93 ^b

El contenido de macrominerales de las hojas de álao no estuvo asociado a la edad de la guía que originó los árboles, y sí varió según la época del año ($p < 0,05$) (Tabla 3.8). La concentración de K y P fue superior ($p < 0,05$) en octubre y el Mg fue superior en marzo. Por su parte el Ca presentó la mayor ($p < 0,05$) concentración en el mes de diciembre.



Foto 3.8: Vaquillonas comiendo hojas y ramas tiernas de *Populus deltoides* 'Australiano 106/60' producto de una poda sistemática del fuste efectuada en primavera.

3.3.5 Biomasa aérea en el sotobosque

Previo al ingreso de los animales, en enero de 2008, la disponibilidad del pastizal natural espontáneo se estimó en 4403 ($\pm 471,75$) Kg de MS/ha, y al egreso (febrero de 2008) en 2404 ($\pm 421,17$) Kg de MS/ha; un 55% menos debido al pastoreo del ganado vacuno. Si bien estas diferencias fueron significativas ($p=0,002$), al retirar el ganado vacuno del mismo, el forraje disponible en las parcelas no dañadas fue de un 53% y el de las parcelas dañadas de un 41% sin embargo estas diferencias no fueron significativas ($p=0,84$).

Posteriormente, la productividad promedio del rebrote del mismo lote, durante septiembre de 2008 y agosto de 2009 (sin pastoreo), fue de 2066 Kg de MS/ha. Los mayores valores de productividad se registraron en los meses de invierno (2012 Kg/ha) y primavera (3007 Kg/ha), mientras que los menores valores correspondieron a los meses de otoño (1646 Kg/ha) y verano (1401 Kg/ha) (Figura 3.3).

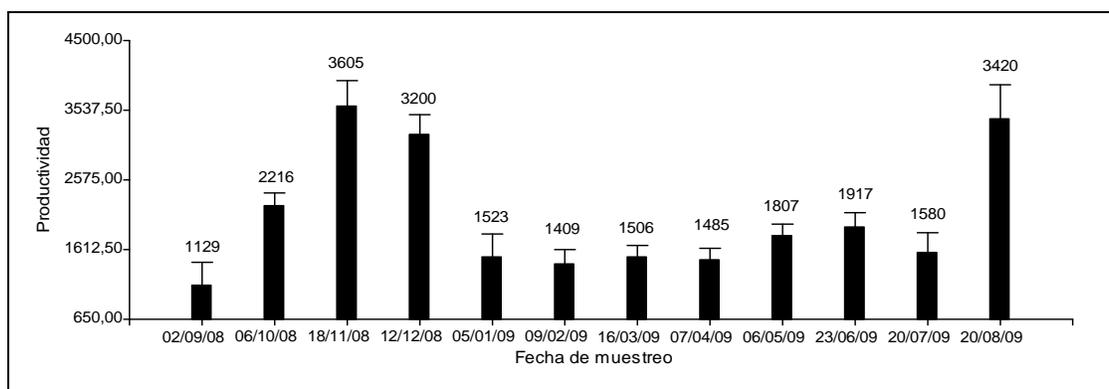


Figura 3.3: Productividad mensual promedio ($n=6$) (kg de MS/ha) del rebrote del pastizal natural durante septiembre de 2008 y agosto de 2009, en un SSP de *Populus deltoides* "Australiano 106/60" en el bajo delta bonaerense del río Paraná.

3.3.6 Composición relativa y diversidad del pastizal

Tabla 3.9: Composición relativa de la vegetación natural espontánea y del suelo desnudo y pasto seco antes y después del ingreso de los animales al SSP de *Populus deltoides* “Australiano 106/60”.

Familia	Género y especie	% de cobertura cuatro días antes del ingreso (11/01/2008)	% de cobertura diez días después del egreso (05/02/2008)	Diferencia
Asteraceae	<i>Cirsium vulgare</i>	0,59	0,01	0,58
Asteraceae	<i>Conyza bonariensis</i>	22,76	9,78	12,98
Asteraceae	<i>Eupatorium hecatantum</i>	0,02	0,01	0,01
Asteraceae	<i>Gamochaeta spicata</i>	0,02	0,15	-0,14
Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus L.</i>	0,01	0,00	0,01
Cyperaceae	<i>Carex riparia</i>	51,48	50,80	0,68
Cyperaceae	<i>Cyperus spp.</i>	3,36	1,34	2,02
Cyperaceae	<i>Rynchospora sp.</i>	0,00	0,51	-0,51
Cyperaceae	<i>Scirpus californicus</i>	1,03	0,96	0,07
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium quinoa</i>	0,01	0,00	0,00
Poaceae	<i>Phalaris angusta</i>	2,21	0,52	1,69
Juncaceae	<i>Juncus sp.</i>	1,62	0,00	1,62
Phytolacaceae	<i>Phytolacca tetramera</i>	0,01	0,00	0,01
Poligonaceae	<i>Polygonum hidropiperoides</i>	11,73	10,33	1,41
	Suelo desnudo	4,17	19,69	-15,52
	Pasto seco	0,97	5,88	-4,91

Se observó una disminución en el porcentaje de cobertura de *Cirsium vulgare*, *Conyza bonariensis*, *Carex riparia*, *Cyperus spp.* y *Phalaris angusta*, y un incremento de suelo desnudo y pasto seco (Tabla 3.9). Inmediatamente después del egreso de los animales de las parcelas, la “Riqueza promedio” de las especies que componen el pastizal y el “Índice de Shannon” disminuyeron su valor (Tabla 3.10).

Tabla 3.10: Valores de riqueza promedio, Índice de Shannon e Índice de Jaccard antes del ingreso del ganado, inmediatamente después del egreso, un año más tarde y después de 18 meses de haber ingresado el ganado vacuno al ensayo silvopastoril de *Populus deltoides* “Australiano 106/60”.

Fecha del muestreo	Riqueza promedio de sp.	Índice de Shannon	Índice de Jaccard
Cuatro días previos al ingreso de los animales (11/01/2008)	8,33	0,937	---
Diez días posteriores al egreso de los animales (05/02/2008)	6,55	0,741	0,333
12 meses posteriores al egreso de los animales (05/01/2009)	9,16	1,29	0,250
18 meses posteriores al egreso de los animales (20/07/2009)	10,17	1,10	0,227

Sin embargo, a los 12 meses posteriores al egreso de los vacunos, dichos valores se incrementaron superando a la “riqueza promedio” previa al pastoreo. A la inversa, los valores del “Índice de Jaccard” mostraron una disminución gradual y paulatina con el transcurso del tiempo (Tabla 3.10).

Tabla 3.11: Composición relativa de la vegetación espontánea en las parcelas dañadas ($n=3$) y no dañadas ($n=3$) por el ganado vacuno en un SSP de *Populus deltoides* “Australiano 106/60” en el Delta bonaerense del río Paraná.

Género	Parcelas sin daños	Parcelas con daños	Diferencia
<i>Carex</i>	61,05	40,97	20,07
<i>Coniza</i>	16,16	30,01	-13,86
<i>Polygonum</i>	8,74	15,02	-6,28
<i>Eupatorium</i>	0,02	0,01	0,01
<i>Gamochoeta</i>	0,02	0,02	0,00
<i>Cyperus</i>	3,10	3,65	-0,56
<i>Scirpus</i>	0,86	1,22	-0,36
<i>Quenopodium</i>	0,01	0,01	0,00
<i>Juncus</i>	3,09	0,02	3,07
<i>Cirsium</i>	0,87	0,28	0,59
<i>Phalaris</i>	3,10	1,24	1,86
<i>Sonchus</i>	0,01	0,00	0,01
<i>Sagitaria</i>	0,00	0,01	-0,01
<i>Phytolaca</i>	0,01	0,00	0,01
Suelo desnudo	1,85	6,73	-4,88
Pasto seco	1,12	0,81	0,31

Las diferencias observadas en las parcelas sin y con daños de la Tabla 3.11, no fueron significativas para los géneros *Carex* ($p=0,5298$), *Coniza* ($p=0,0603$), *Polygonum* ($p=0,2202$) y el componente pasto seco ($p=0,1711$). Sin embargo fueron significativas en “suelo desnudo” ($p=0,0368$) y en MS/ha ($p=0,0023$) antes y después del ingreso del ganado.

Los resultados de los censos de vegetación en base a cobertura/dominancia determinaron la presencia de las siguientes especies como principales: Familia Alismataceae: *Sagittaria montevidensis* (Saeta; pata de loro); Familia Asteraceae: *Baccharis spicata* (Lam.) Baill. (Chilca), *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. (Cardo), *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist (Carnicera; Rama negra), *Eupatorium hecatantum*, *Gamochaeta spicata*, *Hypochaeris sp.*, *Senecio madagascariensis* (Senecio), *Solidago chilensis* Meyen. (Vara de oro), *Sonchus oleraceus* L. (Cerraja), *Taraxacum officinale* G. Weber ex F.H. Wigg (Diente de león); Familia Brassicaceae: *Brassica s.* y *Nasturtium aquaticum* (Berro); Familia Chenopodiaceae: *Chenopodium quinoa* Willd. (Quinoa); Familia Convolvulaceae: *Convolvulus sp.* (Campanilla); Familia Cyperaceae: *Carex riparia* Curtis (Pajilla), *Cyperus spp.*, *Rynchospora sp.*, *Scirpus giganteus* Kunth (Paja brava), *Scirpus californicus* (C.A.MEY.) Steud. (Junco); Familia Juncaceae: *Juncus sp.*; Familia Oleaceae: *Ligustrum sinense* Lour (Ligustrina); Familia Phytolaccaeae: *Phytolacca tetrámera* (Ombucillo); Familia Poaceae: *Phalaris angusta* Nees ex Trin. (Alpistillo), *Deyeuxia viridiflavescens* (Poir.) Kunth (Pasto plateado), *Leersia hexandra* Sw. (Arrocillo; Arroz de monte), *Chaetotropis sp.*, *Bromus catharticus* (Cebadilla criolla); *Lolium multiflorum* (Ray grass). Familia Polygonaceae: *Polygonum hidropiperoides* Michx. (Catay), *Rumex crispus* L. (Lengua de vaca); Familia Plantaginaceae: *Plantago lanceolata* (Llanten); Familia Ranunculaceae: *Ranunculus sp.*; Familia Rosaceae: *Duchesnea indica* (Andrews) Focke (Frutilla silvestre), *Rubus caesius* L. (Zarzamora); Familia Solanaceae: *Solanum bonariensis* L. (Naranjillo).

3.3.6 Calidad del pastizal



Foto 3.9: Toma de muestras de la vegetación natural que crece espontáneamente en un ensayo de guías de *Populus deltoides* ‘Australiano 106/60’, en el Bajo Delta del Río Paraná.

Respecto a la calidad del pastizal (Tabla 3.12) los resultados demostraron que en las cuatro épocas del año evaluadas, los valores de FDA y FDN manifiestan una disminución progresiva con el tiempo, mientras que los de DE y PB se incrementan gradualmente debido posiblemente a una mayor presencia de pastos tiernos y de otras especies como se observa en los valores de Riqueza promedio e Índices de Shannon (Tabla 3.10). El análisis del valor nutritivo de las hojas de álamo (Tabla 3.7) evidencia mayores valores nutricionales que las pasturas analizadas (Figura 3.4).

Tabla 3.12: Valores de MS, PB, FDA, FDN y DE en el pastizal natural creciendo en un SSP de *Populus deltoides* "Australiano 106/60" en el Delta bonaerense del Río Paraná.

Fecha	MS (%)	FDA (%)	DE (%)	FDN (%)	PB (%)
11/01/2008	51,2	40,65	57,23	68,52	6
05/02/2008	52,4	41,89	56,27	67,25	6,08
05/01/2009	51,6	39,45	58,17	66,78	7,76
20/07/2009	39,8	33,95	62,45	62,01	11,57
Promedio	47	38,98	58,53	66,14	7,85

En la pastura natural de este SSP de álamo (Figura 3.4), los mayores valores de FDA correspondieron a los meses de verano y de otoño respectivamente y los menores a primavera e invierno; a su vez los mayores valores de FDN correspondieron a los meses de otoño, verano y primavera, y los menores a los de invierno. Los mayores valores de DE correspondieron a los meses de invierno y primavera y los menores valores a otoño y verano, mientras que los mayores valores de PB se obtuvieron en los meses de invierno y otoño y los menores a primavera y verano (Figura 3.4).

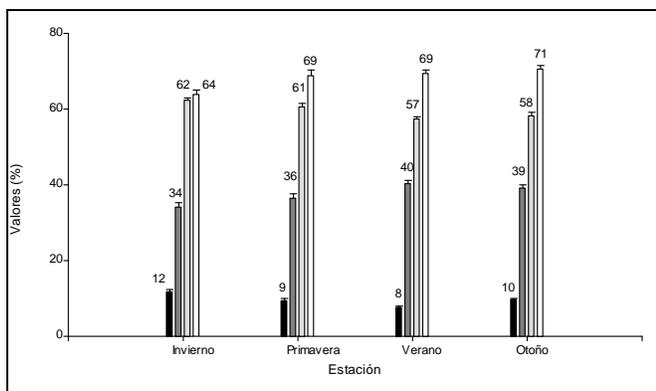


Figura 3.4: Valores promedio de PB (barras negras), FDA (barras gris oscuro), DE (barras gris claro), FDN (barras blancas) en una pastura natural de un SSP de *Populus*

deltoides “Australiano 106/60” del bajo Delta del río Paraná en las cuatro estaciones del año.

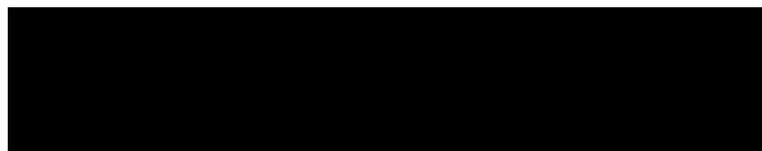
Si bien todas las especies presentes en las parcelas antes del ingreso del ganado vacuno de cría al SSP fueron consumidas en mayor o menor grado, *Phalaris angusta* y *Carex riparia* fueron las más pastoreadas (Tabla 3.13).

Tabla 3.13: Grado de pastoreo del ganado vacuno

Género y especie	Grado de pastoreo del ganado vacuno
<i>Cirsium vulgare</i>	2
<i>Conyza bonariensis</i>	1
<i>Eupatorium hecatantum</i>	1
<i>Gamochaeta spicata</i>	1
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	3
<i>Carex riparia</i>	4
<i>Cyperus</i> spp.	2
<i>Rynchospora</i> sp.	1
<i>Scirpus californicus</i>	2
<i>Chenopodium quinoa</i>	2
<i>Phalaris angusta</i>	4
<i>Juncus</i> sp.	2
<i>Phytolacca tetrámera</i>	1
<i>Polygonum hidropiperoides</i>	1

3.3.7.1 Disponibilidad de proteína bruta en las hojas de álamo vs. pastizal natural en la temporada estival.

Tabla 3.14: Comparación entre el valor de proteína bruta (PB) de las hojas de álamo vs. el pastizal natural en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre. Letras distintas entre tipos de forraje y temporadas de muestreo indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).



Los mayores valores de PB ($p < 0,05$) se encontraron en las hojas de álamo y en las pasturas naturales de primavera, sin embargo se encontraron diferencias significativas entre ambos tipos de forraje. Ocurrió lo mismo a comienzos y a fines del verano.

Tabla 3.15: Comparación entre el valor de digestibilidad estimada (DE) de las hojas de álamo vs. el pastizal natural en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre. Letras distintas entre tipos de forraje y temporadas de muestreo indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Tipo	Temporada		
	Octubre	Diciembre	Marzo
Hojas de álamo	63,73b	67,36a	62,02b
Pasturas naturales	65,05ab	57,52c	57,87c

Los mayores valores de DE se encontraron en las hojas de álamo de comienzos del verano y en las pasturas naturales de primavera, mientras que los menores valores, en las hojas de álamo se encontraron en primavera y a fines del verano, y en las pasturas durante el verano.

3.4 DISCUSIÓN

Si bien se observó que el porcentaje de prendimiento de G1, G2 y G3 fue de un 100%, los árboles originados de G1 tuvieron durante el primer año de crecimiento una respuesta en DAP y Ht más rápida que G2 y G3. Sin embargo, al tercer año, los árboles originados de G2 y G3 presentaron un incremento en DAP y Ht significativamente superior a G1. Una situación similar fue descrita por Casaubón *et al.*, (2006) al comparar el crecimiento dasométrico de estacas (E) versus G1 y G2 de *Populus deltoides* “106/60”. Sin embargo, para el mismo ensayo Casaubón *et al.* (2011) determinaron que al octavo año de plantación, los árboles originados de G2 presentaron mayores DAP y Ht con respecto a los originados de G1 y E. Posiblemente la mayor acumulación de biomasa en las guías de uno, dos y tres años de edad con respecto a las E, sea la causal del éxito obtenido en el enraizamiento de estos materiales como lo menciona Nanda *et al.* (1971). Lo expuesto confirma lo postulado en la primer hipótesis en relación a que G1, G2 y G3 presentan al primer año de plantación un buen prendimiento y al tercer año un buen desarrollo volumétrico.

En relación al daño provocado por los animales en G1, G2 y G3, es posible que el origen de los materiales de plantación utilizados en el ensayo (estaqueros convencionales del Delta distanciados entre cepas a 0,4x0,8 m), hayan tenido incidencia en los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que los mismos fueron diseñados para producir más metros lineales de guías por unidad de superficie (destinados generalmente a la producción de E) que un mayor volumen individual en la guía como es lo que nos interesa en nuestro caso. Posiblemente si se hubiesen utilizado G1, G2 ó G3, con un DAP mínimo de 6 cm (como fue analizado en el Capítulo II de esta Tesis) los porcentajes de daño podrían haber sido inferiores a los aquí descriptos o posiblemente no

hubiesen existido. Estos resultados son coincidentes con Somarriba (1997) quien determinó que el daño ocasionado por el ganado vacuno en las jóvenes plantas puede llegar a provocar pérdidas de calidad en el fuste por descortezamiento, y hasta la muerte de algunos árboles como lo ocurrido en este ensayo. Se desconoce sin embargo si el descortezamiento de plantas con diámetros inferiores a los 6 cm se debió a la mayor palatabilidad de las cortezas de las guías más finas, de un año de edad, o a alguna dificultad propia del animal para descortezar fustes de mayor diámetro. Se confirma la segunda hipótesis que plantea que el inicio del descortezamiento provocado por el ganado vacuno que pastorea un SSP de álamo está inversamente asociado con el diámetro y la edad del material de multiplicación.

Ibrahim *et al.*, (2006), mencionaron que la combinación de pasturas, hojas y ramas tiernas de árboles forrajeros incrementa el valor nutritivo de la dieta animal, a su vez la hojarasca de los árboles estimula el ciclaje de nutrientes, protege el suelo y mejora su fertilidad. Por su parte Hernández *et al.*, (1995), Rossi *et al.*, (2005), Mead (2009), Carou *et al.*, (2010) y Thomas (2011) refieren que especies leñosas como el álamo poseen un elevado potencial forrajero en hojas y ramas tiernas y que por sus cualidades nutricionales y su palatabilidad, pueden constituir buenos suplementos de la base alimentaria en un SSP, mejorar la dieta del ganado en pastoreo y aportar un volumen de forraje en períodos de escasez. Por su parte Ball *et al.*, (2005) informan que en Nueva Zelanda se promueve la poda de álamos para producir ramas jóvenes y follaje que se utilizan como forraje alternativo. En el Delta del Paraná, Casaubón *et al.*, (2006) estudiaron la época e intensidad de poda más apropiada para *Populus deltoides* y concluyeron que las podas de primavera originaban una menor cantidad de ramas chuponas en el fuste de los árboles. Por otra parte, si bien es muy conocida la avidez del ganado vacuno por las hojas y ramas tiernas de álamo producto de una poda sistemática del fuste, se observó a campo, durante dos años consecutivos, que la misma no se mantuvo constante durante todo el período vegetativo del árbol, sino que fue mayor en primavera, hasta inicios del verano y que desapareció a mediados del verano y durante el otoño. Corroborando esto, en el muestreo realizado en diciembre de 2008 en el presente estudio se determinó que el valor nutritivo de las hojas de álamo superó al del pastizal natural. Desde el punto de vista práctico en la implementación de los SSP, los daños ocasionados por el ganado en el 100% de las hojas y ramas tiernas a su alcance podrían evitarse con una poda sistemática del fuste que elimine en primavera todos los brotes epicórmicos que aparecen en la guía después de la plantación. Se coincide además con lo expresado por Benavidez *et al.* (2008) en relación a la utilidad del follaje de árboles forrajeros como alimento para el ganado y con Ball *et al.* (2005) y Mead (2009) en los buenos valores nutritivos que posee el follaje de los álamos y que sus hojas pueden ser utilizados como valiosos suplementos alimenticios. Si bien Cameron, (2003); Kemp *et al.*, (2003) y Sulaiman *et al.*, (2006) citaron que en verano, el valor nutritivo de las hojas de álamos era igual o superior al de los pastos (lo cual explicaría la avidez del ganado por estas hojas), en nuestro caso los mayores valores de PB promedio ($p < 0,05$) se registraron en las hojas tiernas de primavera duplicando prácticamente los valores obtenidos a comienzos del verano. En cambio, los valores de DE aumentaron en diciembre ($p < 0,05$) y decrecieron en Marzo ($p < 0,05$), temporada en la cual aumenta la aspereza en la textura de la hoja (Heady y Child, 1994). Si se relacionan los valores nutricionales de las hojas de álamo en octubre, diciembre y marzo, con la mayor preferencia observada a campo en vaquillonas por las hojas y brotes tiernos de álamo, en primavera e inicios del verano,

y la disminución o ausencia de preferencia del ganado por dichas hojas observada a campo en el mes de febrero, dicha avidez podría relacionarse con los mayores valores de PB y DE de las hojas tiernas de álamo de primavera e inicios del verano (Tabla 3.15), con la textura de dichas hojas a fines de verano y con la menor calidad de los pastos en esa época del año mayoritariamente en pleno estado reproductivo. Este comportamiento del ganado podría explicarse con la “Teoría de la Alimentación Óptima” postulada por Pyke (1984), referida a la serie de estrategias que utilizan los animales para consumir su alimento maximizando la tasa costo/beneficio y las ganancias energéticas. En ausencia de otras limitantes, los animales que buscan alimento deciden el tipo de alimento o el tiempo que permanecen en un mismo sitio en función de la cantidad de energía que obtienen del mismo, la energía que gastan y el tiempo que invierten en el proceso (Pyke *et al.*, 1977). Los análisis del contenido de macrominerales en las hojas de álamo demostraron además que mientras que K y P presentaron mayor disponibilidad en octubre, Ca la presentó en diciembre y Mg en Marzo; estos valores resultan coincidentes con los observados por Carou *et al.*, (2010) también en hojas de álamo. Es necesario asimismo realizar estudios complementarios de otros compuestos como taninos, que pueden modificar estacionalmente la palatabilidad (Leslie *et al.*, 1984). En nuestro ensayo, si bien en el mes de marzo las hojas de álamo poseen mejores valores nutricionales que los pastos, las mismas pierden su palatabilidad (el ganado vacuno ya no las consume). Es probable que además de la aspereza de la hoja propia de ese período, puedan aparecer efectos antinutritivos debidos a la presencia de compuestos fenólicos del grupo de los taninos por encima de los valores habituales en sus dietas (Mole y Waterman, 1987) que pudiesen reducir la digestibilidad de la proteína (González Hernández *et al.*, 1999). Se confirma de este modo la tercera hipótesis que plantea que en primavera-inicios del verano las hojas de álamo constituyen un buen complemento de la dieta ganadera.

Heady y Child (1994) citaron que las plantas preferidas por el ganado son las más palatables y que es comúnmente aceptado que al forraje rico en proteínas, azúcares y grasas se lo relacione directamente con la alta palatabilidad, a su vez, que el porcentaje de lignina y de fibras aumenta cuando los porcentajes de carbohidratos simples y grasas disminuyen. En consecuencia existe una relación inversa entre la palatabilidad y el contenido de lignina y fibras. Otros factores que afectan la palatabilidad son: la relación hoja/tallo de las plantas, (las hojas de gramíneas, graminoides e hierbas tienen proporciones mayores de grasas, proteínas y carbohidratos simples, pero menos lignina y fibras que los tallos); el estadio de crecimiento de la planta (con la edad, la planta entera se vuelve más rica en fibras y las relaciones entre hoja, tallo y fruto se vuelcan hacia proporciones mayores de biomasa alojada en los tallos); la forma externa de la planta (la palatabilidad disminuye con la presencia de espinas, pilosidad excesiva, aristas y/o aspereza de textura); la altura de la pastura (el hábito de crecimiento y posición de las hojas, yemas de crecimiento y tallos, afectan la accesibilidad y la palatabilidad). Según Choong *et al.* (1992), como la dureza de las hojas se correlaciona directamente con la digestibilidad, el rechazo de hojas más duras por parte del herbívoro podría evitar el costo relativamente alto de comer alimentos nutricionalmente pobres. Para Altesor *et al.* (1998), hay tres grupos de especies, las palatables, especies de palatabilidad intermedia y las malezas. Las especies palatables corresponden a graminoides e hierbas que presentan hojas tiernas durante toda su vida y que generalmente son muy palatables; las especies de palatabilidad intermedia son graminoides e hierbas cuyas hojas son fibrosas cuando son viejas y poseen palatabilidad media a baja, y las malezas son especies herbáceas o arbustos usualmente no palatables, inaccesibles ó tóxicas para los herbívoros.

Comparando los censos de vegetación realizados antes y después del ingreso de los animales al ensayo SSP (Tabla 3.9) se observa un aumento en el porcentaje de *Gamochaeta*, *Rinchospora*, de suelo desnudo y de pasto seco. La drástica reducción en los porcentajes de *Coniza* podría deberse más al pisoteo de los animales que a su consumo; *Coniza* posee hojas pilosas y la preferencia del ganado vacuno por esta planta es muy escasa (Tabla 3.13).

La producción media de MS del pastizal natural espontáneo fue similar a la mencionada por Casaubon *et al.*, 2005; Rossi *et al.*, 2005, González *et al.*, 2008 y Torrá *et al.*, 2009 para la región del Delta y con los de una pastura de Poaceas de la región pampeana destinada a la cría vacuna (González *et al.*, 2008). Teniendo en cuenta que el consumo de forraje fue de 1999 Kgr de MS/ha (diferencia entre el primer y segundo muestreo), que el consumo individual de cada animal es de aproximadamente un 2.5 a un 3% de su peso vivo de MS por día (Vernet, 1998), que la carga animal utilizada fue de 12 animales por ha, y además las pérdidas por pisoteo, deyecciones, etc., podría asumirse que el descortezamiento producido en las parcelas pastoreadas en el ensayo recién a partir del décimo día de haber ingresado los animales al ensayo SSP tenga una relación directa con la disponibilidad de forraje en volumen y/o calidad dentro de las parcelas dañadas como lo menciona Simón *et al.*, (1998). Las parcelas que no presentaron daño en la corteza de los árboles se caracterizaron por una mayor presencia de *Carex sp.*, *Juncus sp.*, *Cirsium sp.* y *Phalaris angusta*, aunque no presentaron diferencias significativas con las parcelas dañadas ($p > 0,05$), mientras que las que presentaron daños tenían una mayor presencia de *Coniza*, *Polygonum*, *Cyperus*, *Scirpus* y *Sagitaria*, especies de menor valor forrajero (aunque tampoco presentaron diferencias significativas con las parcelas no dañadas ($p > 0,05$), y de suelo desnudo (esta última variable si presentó diferencias con respecto a las parcelas no dañadas ($p = 0,0368$)). Según Rossi *et al.*, 2012, *Carex riparia* presenta un % de PB de 15,6 y *Phalaris angusta* 16,4% de PB.

Los valores promedio obtenidos de FDA (38,98%) y de DE (58,53%) deben considerarse adecuados para la región (González *et al.*, 2008). El valor promedio de FDN es un indicador que se correlaciona inversamente con el consumo voluntario, pudiéndose estimar el consumo en base al FDN (González *et al.*, 2008). En función de esta fórmula, las dietas ricas en FDN constituyen un factor limitante del consumo de la MS, determinando que la regulación de la ingesta en los animales sea establecida por mecanismos de control físico. Considerando lo señalado por González *et al.* (2008) y Rossi (2010), que el promedio de PB de la pastura fue de un 7,85% y que la DE promedio en los diferentes muestreos fue superior al 55%, se consideró que el forraje disponible en el presente ensayo fue de buena calidad para desarrollar cría vacuna sobre pastizal natural. Los valores de la calidad forrajera del pastizal natural aumentaron luego del egreso de los animales del SSP debido posiblemente a una mayor presencia de pastos tiernos y a la aparición de especies con mayor palatabilidad tales como *Deyeuxia viridiflavescens* (Pasto plateado), *Leersia hexandra* (Arrocillo), *Lolium multiflorum* (Rye grass) y *Amorpha fruticosa* (Sauce indio, Falso índigo) en las parcelas muestreadas.

Comparando los valores de diversidad del sotobosque del SSP (Tabla 3.13) se observó que el disturbio provocado por el pastoreo del ganado vacuno ocasionó un aumento en los valores de Riqueza promedio e índice de Shannon apareciendo en los censos nuevas especies. Estos resultados son coincidentes con la hipótesis de disturbio intermedio (HDI), la cual predice mayores niveles de diversidad a niveles intermedios de disturbio. El mecanismo básico de la HDI es que sin disturbios, una o pocas especies excluyen por competencia a las restantes, mientras que a altos niveles de disturbio, una o

pocas especies tolerantes y colonizadoras pueden persistir. A niveles intermedios de disturbio, tanto las buenas competidoras como las especies que son tolerantes a los disturbios pueden encontrar sitios adecuados y coexistir, maximizando así la diversidad (Conell, 1978).

En la región, el ingreso de los animales al sistema se produce habitualmente al 4^{to} ó 5^{to} año cuando se utilizan estacas como material de plantación (Suarez, 2006) en lugar de guías teniendo en cuenta la palatabilidad de los álamos, sin embargo en este Capítulo se pudo demostrar que es posible ingresar el ganado vacuno de cría al SSP a los 18 meses de instalada la plantación y que los daños en el fuste de los árboles podrían evitarse utilizando guías de uno (G1), dos (G2) o tres (G3) años de edad, con un DAP igual ó superior a los 6 cm, y que los daños comienzan cuando escasea el forraje de calidad en el sistema. En Chile, el ganado vacuno ingresa al SSP con álamos recién al 4^{to} ó 5^{to} ó 6^{to} año de plantado, cuando los árboles adquieren un DAP que no resulta dañado por los animales (Conaf-Infor, 1997). Otro ejemplo es el de la Empresa Forestal `El Álamo´ de Chile que utiliza un sistema de producción agropecuario entre las hileras de álamo, con un cultivo de maíz durante los primeros tres años, para luego pastorear las plantaciones durante toda la rotación (Sanhueza, 1998; Ulloa *et al.*, 2004; Sotomayor, 2009).

3.5 CONCLUSIONES

Si bien las guías de uno, dos y tres años de edad son muy buenos materiales de propagación en *Populus deltoides* `Australiano 106/60`, los árboles originados de guías de dos y tres años de edad presentan un mayor incremento en DAP y Ht y un mayor peso seco total al tercer año de edad de la plantación.

Para acelerar el establecimiento de un SSP utilizando guías álamos, la carga animal o duración de los pastoreos, debería ajustarse en función de la disponibilidad y calidad de las especies forrajeras presentes para garantizar la sustentabilidad del sistema.

El disturbio provocado por el pastoreo de ganado vacuno en las pasturas naturales espontáneas facilitó la instalación de especies valiosas desde el punto de vista forrajero tales como *Phalaris angusta*, *Lolium multiflorum*, *Bromus catharticus*, *Deyeuxia viridiflavescens*, *Leersia hexandra* y *Amorpha fruticosa*.

Las hojas de *Populus deltoides* constituyen un buen complemento para la dieta del ganado vacuno en un SSP. Es probable que los elevados valores de PB, P y K registrados en las hojas de *Populus deltoides* `Australiano 106/60`, en el mes de octubre y el incremento en los valores de DE registrados en octubre-diciembre, tengan una relación directa con la mayor avidez del ganado vacuno por las hojas tiernas de álamo de primavera e inicios del verano.

CAPÍTULO IV : Discusión general y conclusiones.

4.1. Discusión general

Los resultados de esta tesis permiten lograr una mayor comprensión del SSP con álamos (*Populus deltoides*) en el bajo Delta del Paraná, resultando innovador en lo referente a la rapidez en el establecimiento de este sistema productivo. Si se utiliza la tecnología desarrollada en el presente estudio, el ingreso del ganado vacuno al SSP puede acelerarse 3 ó 4 años con respecto a la instalación tradicional en la región que habitualmente ocurre al 4^{to} ó 5^{to} año por utilizar estacas como material de propagación. Por otra parte, el sistema forestal de salicáceas, si bien es una actividad que se viene desarrollando en el bajo Delta prácticamente desde los últimos 100 años, el principal destino de la producción nunca fue decididamente la obtención de madera de calidad para usos diversos como es nuestro propósito, la madera que se produce posee un alto potencial para este destino comercial. Esta nueva propuesta solo exige la utilización de adecuados materiales de propagación y distanciamientos de plantación apropiados al objetivo perseguido, además de otras técnicas silvícolas oportunas como las podas sistemáticas del fuste y la utilización del follaje como complemento de la alimentación del ganado (Ball *et al.*, 2005; Mead, 2009). Por su parte el sistema ganadero bajo las plantaciones de álamos y sauces fue concebido originalmente más que con un fin comercial propiamente dicho, para minimizar los riesgos de ocurrencia de incendios forestales al reducir el material inflamable a través del consumo de especies de valor forrajero del pastizal natural que crece espontáneamente en la zona. Asimismo, la reducción de la biomasa del sotobosque por el consumo del ganado facilita la incorporación al suelo de los residuos orgánicos y reduce la competencia por agua y nutrientes de la vegetación natural con las guías de álamo. Tampoco existe una fuerte tradición ganadera en la región ni suficiente conocimiento acerca del manejo sustentable que debería realizarse en un área ecológicamente tan sensible como lo es el Delta del Paraná. En consecuencia, focalizar el estudio en el comportamiento de los diferentes materiales de propagación con el objetivo de lograr una rápida ingreso del ganado al sistema y sus posibles dificultades, fue considerado como un importante aporte al conocimiento de los SSP bajo forestaciones de álamos, una etapa del sistema en la cual el volumen de pastos naturales resulta el más abundante para el ganado.

La hipótesis asociada al segundo Capítulo II se pudo sostener solo parcialmente constatándose que las mayores distancias de plantación de cepas madres productoras de guías en estaqueros provocaron cambios positivos directos en la acumulación y en la partición de biomasa (Tabla 2.5 y Fig. 2.2) y que las mayores distancias de plantación influyeron positivamente en relación al índice de sinuosidad (Fig. 2.1) produciendo guías más rectas con un mejor coeficiente de esbeltez (Tabla 2.4) generando fustes más cónicos y resistentes frente a una fuerza externa como puede ser la ejercida por un animal. Se detectó fundamentalmente que las variables DAP, Ht y volumen individual de la guía promedio fue significativamente mayor en las mayores distancias de plantación y edad de los materiales (Tabla 2.2). Por otra parte, cuando se llevan a plantación guías rectas (índices de sinuosidad muy cercanos a 1), de buen DAP (\geq a 6 cm) y esbeltez, se asegura un elevado prendimiento de esos materiales, debido posiblemente a la mayor acumulación de biomasa aérea (Concuera *et al.*, 2006) y futuros rodales más homogéneos (Sanhueza, 1998), mientras que con altas densidades de plantación se produce un uso más intensivo de la capacidad productiva del sitio y un mayor volumen total, aunque distribuido en individuos de poco diámetro.

El estudio presenta información original acerca del comportamiento de estos materiales de multiplicación cuando se utilizan distanciamientos de plantación no tradicionales para la región en lo que respecta a la acumulación y distribución de la biomasa. Los distanciamientos más amplios en el estaquero (1x1 m y 1,2x1,2 m) distribuyeron hacia los órganos aéreos mayor proporción de biomasa que las guías obtenidas en los distanciamientos más estrechos (0,6x0,6 m) (Fig. 2.2), mientras que estos últimos distribuyeron un mayor porcentaje de la biomasa total hacia la raíz debido a la competencia entre plantas por agua y nutrientes (Thornley, 1969). Resultó evidente que los mayores distanciamientos de plantación, incidieron positivamente en el aumento de la biomasa aérea y subterránea de cada guía en comparación con los materiales obtenidos en estaqueros con una menor distancia de plantación. De esta manera se considera que la información obtenida contribuye al conocimiento en relación a la posibilidad de acelerar la instalación del sistema. En este contexto las guías de uno (G1), de dos (G2) y de tres (G3) años de edad, de mayor diámetro, garantizan un mejor anclaje y enraizamiento en comparación con guías provenientes de viveros densamente plantados, con menor acumulación de biomasa en el fuste, garantizando desde su instalación en sitios adecuados para el cultivo un mejor desarrollo del rodal (Molnar y Cuming, 1968).

De la información generada en el Capítulo 3, la hipótesis asociada que se puso a prueba se aceptó en su totalidad. Se comprobó que el porcentaje de prendimiento de los tres materiales de propagación utilizados fue de un 100%; las guías de 1, 2 y 3 años de edad que presentaban un DAP igual ó superior a 6 cm al momento de ser plantadas, no fueron dañadas por el ganado vacuno de cría frente a la escasez de forraje o pérdida de calidad del mismo en la etapa de instalación del cultivo (Fig. 3.2). Sin embargo todas las ramas tiernas originadas de yemas dormidas después de una poda sistemática del fuste que se encontraban al alcance de los animales, fueron consumidas, especialmente durante el primer ingreso de los animales a la plantación a inicios del verano.

El ganado vacuno, además de pastorear especies de buena calidad forrajera, utiliza como complemento del forraje y con gran avidez, hojas y ramas tiernas de álamo resultante de las podas de limpieza del fuste (Hernández *et al.*, 1995; Rossi *et al.*, 2005; Mead, 2009; Carou *et al.*, 2010 y Thomas, 2011). Los análisis efectuados demostraron elevados contenidos proteicos en las hojas, especialmente en primavera e inicios del verano (Tabla 3.7), así como de P y K (Tabla 3.8) en un período en el cual la poda de ramas fue la más apropiada, por producir una menor cantidad de brotes epicórmicos (Casaubón *et al.*, 2005). Es decir, las podas favorecen dos aspectos importantes de los SSP en forma simultánea, la producción de madera de calidad, libre de nudos, y la provisión de hojas y ramas tiernas de buena calidad como forraje complementario al ganado.

Se pudo constatar además, en un segundo ensayo, que al tercer año de crecimiento de la plantación, los árboles originados de guías de dos y tres años acumularon mayor biomasa total presentando un mayor desarrollo volumétrico del fuste que los originados de guías de un año. Si bien las guías de tres años de edad reaccionaron más lentamente una vez plantadas en su crecimiento en DAP y Ht, en comparación con G2 y G1, su desarrollo radical fue superior (Tabla 3.6) lo cual implica árboles con mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes.

Cuando analizamos el comportamiento del ganado vacuno dentro de la plantación en períodos de abundancia de forraje, G1, G2 y G3 sólo fueron afectadas por

el consumo de hojas y ramas tiernas que se encontraban a su alcance, sin ocasionar daños en el fuste. Sin embargo, a los 10 días posteriores al ingreso de los animales al ensayo SSP, cuando el forraje del sotobosque comenzó a escasear en biomasa y principalmente en calidad, las terneras de destete iniciaron el descortezamiento de las guías de menor diámetro, llegando en algunos casos a retrasar su desarrollo y a ocasionarles la muerte cuando el descortezamiento del fuste coronó a toda la guía.

El porcentaje de prendimiento (100%) de los materiales ensayados a campo en el presente estudio fue en todos los casos muy superior al de las estacas, comúnmente utilizadas en la zona que habitualmente presentan dificultades de enraizamiento por problemas de topófisis, ciclófisis, heladas tardías, competencia con las malezas, daños por hormigas podadoras (Martínez Pastur, 1964; Carmona *et al.*, 1965; FAO, 1980; Bunse y Cerrillo, 1988; Casaubón 2011), sumado a la heterogeneidad de los rodales (Sanhueza, 1998).

Otro aspecto a resaltar fue la diversidad de especies del pastizal natural en el SSP evaluado. El disturbio que ocasionó primero la utilización de una rastra de discos sobre el pastizal natural, posteriormente el pastoreo del ganado vacuno y el drenaje del agua presente en esos campos, facilitó la instalación de especies valiosas desde el punto de vista forrajero lo cual mejoró la calidad pastoril del sistema. En este sentido, posiblemente el manejo del agua contribuyó en convertir ambientes típicos de bañados en un ambiente enriquecido por especies forrajeras tales como *Phalaris angusta*, *Lolium multiflorum*, *Bromus catharticus* y otras) (Casaubon *et al.*, 2005).

Si bien la mayoría de las especies vegetales espontáneas presentes fueron consumidas por el ganado, algunas de ellas tuvieron mayor preferencia lo cual facilitó la confección de un índice de preferencia o grado de pastoreo de las mismas (Tabla 3.17). Como era de esperar, la presencia y abundancia de especies de la flora espontánea con una baja palatabilidad o grado de preferencia como *Coniza bonariensis* (carnicera, rama negra) contribuyó posiblemente a que aumentara el daño ocasionado por el ganado a los fustes de los jóvenes árboles fundamentalmente por ausencia de un volumen de pastos de calidad. Es también posible que el DAP de dichos árboles haya ejercido su influencia en la facilidad del descortezado ya que solo fueron afectados y en mucho mayor proporción aquellos ejemplares que poseían DAP inferiores a 6 cm. Posiblemente este diámetro actúe por sí mismo como una barrera mecánica para el ganado, ya que no se registraron a campo siquiera intentos de animales que hayan pretendido descortezar ejemplares de mayores DAP.

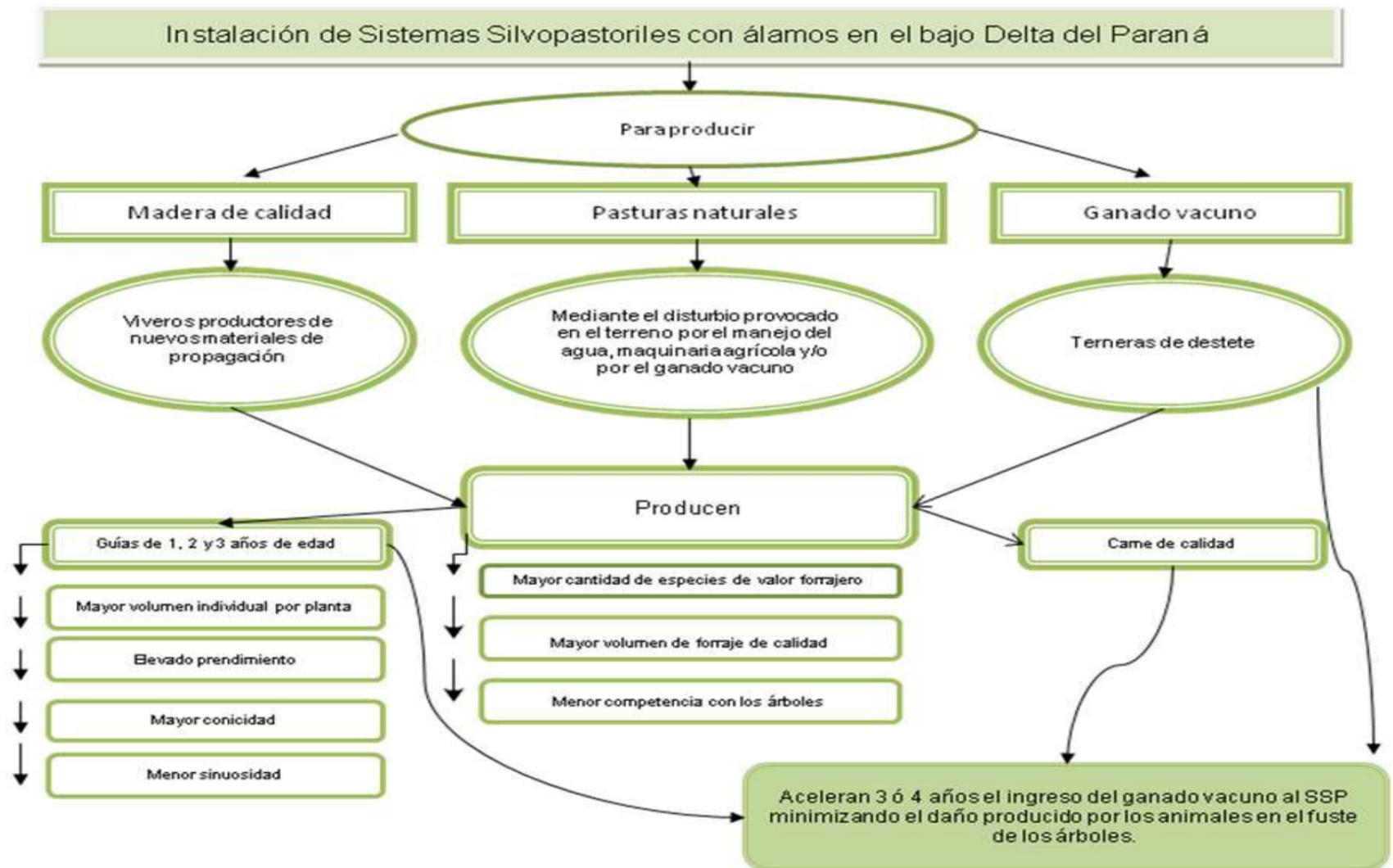
En referencia a la segunda hipótesis del Capítulo 3, específicamente en que el daño del ganado a los árboles se relaciona inversamente con la abundancia de pasturas de calidad, se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de suelo desnudo; el mayor porcentaje estuvo presente en las parcelas más dañadas.

4.2. Aplicabilidad de los resultados obtenidos en el transcurso del desarrollo del trabajo de Tesis: Los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta tesis, tales como nuevas distancias de plantación en estaqueros y la utilización de guías de uno, dos y tres años de edad, fueron adoptadas por una empresa líder de la región, la cual solicitó además la redacción de un Manual de Buenas Prácticas de Manejo para certificar sus plantaciones de álamo y su SSP bajo la Norma Ambiental ISO 14.001. A su vez, y teniendo en cuenta estos antecedentes, el Grupo de Consulta Mutua “Río Carabelas” solicitó a la Dirección Forestal de la SAGPyA una modificación en la reglamentación

vigente que avalara los nuevos distanciamientos, y en 2008 se aprobó la Resolución 587 para la presentación de planes forestales reconociendo un pago superior al productor cuando la plantación se realiza utilizando guías como material de propagación y distanciamientos mayores (6x6 m) sin necesidad de justificar técnicamente tal determinación.

En este contexto la Asociación Forestal Argentina (AFoA) Regional Delta solicitó recientemente a la EEA Delta del Paraná de INTA, la publicación de dichos Manuales de Buenas Prácticas Forestales (Casabón *et al.*, 2012a) y Silvopastoriles (Casabón *et al.*, 2012b). También basado en la información del presente estudio se generó información para pequeños y medianos productores forestales (Carpetas de Difusión "Competitividad de las empresas familiares forestales del Delta del Paraná") y próximamente a solicitud de la Asociación de Viveristas se redactará un Manual de Buenas Prácticas para viveros forestales en el Delta que incluirán los nuevos avances en el conocimiento en esta temática generados durante el desarrollo de la presente Tesis de Maestría. La utilización de guías como material de multiplicación quedó ampliamente demostrada y reconocida en la región, aunque por razones de costos de producción y de implantación algunos productores prefieren utilizar estacas como material de plantación y esperar 4 ó 5 años para iniciar el SSP mediante el ingreso de los animales a la forestación. El material de propagación actualmente más utilizado en la región son las guías de un año de edad, escasamente las guías de dos años y las estacas y en muy raras ocasiones las guías de tres años para la instalación de SSP. Sin embargo otros productores, utilizando guías lograron ingresar a los animales inmediatamente después de la plantación con excelentes resultados.

En el transcurso de la investigación muchos otros clones de álamo demostraron su excelente comportamiento cuando se los plantó de guías de dos años de edad, fundamentalmente por su alto porcentaje de enraizamiento. Al respecto, Casabón *et al.*, (2001) citaron que los cultivares de *Populus deltoides*: I-72; Stoneville 71, Stoneville 109, Australiano 106/60 y Australiano 129/60 presentaron una buena capacidad de enraizamiento. Posteriormente se comprobó un idéntico comportamiento en los cultivares 151/68, 125/68 y en *Populus canescens* "Guardi" utilizando G1, G2 y G3 años de edad. Si bien la utilización de guías en la región se estima en un 80%, resulta evidente que cuando las mismas poseen un bajo diámetro, el enraizamiento de las mismas es muy bajo o nulo. También se dio a conocer al sector productivo la calidad forrajera de las hojas de álamo (principalmente en primavera e inicios del verano) como suplemento al ganado por su valor nutricional.



4.3 Propuesta de una nueva silvicultura adaptada a los sistemas silvopastoriles de *Populus deltoides* en el bajo Delta.



Foto 4.1: *Plantación de Populus deltoides 'Australiano 106/60', de 5 años de edad, de propiedad de la firma EDERRA S.A. originada de guías de 2 años de edad, en el Bajo Delta del Río Paraná.*

Con la nueva realidad agropecuaria que fomentó el ingreso del ganado vacuno a áreas tradicionalmente forestadas con álamos en el Delta, o a la zona núcleo forestal, resulta necesario hablar de una nueva silvicultura para la región que contemple estos cambios profundos en las plantaciones, inclusive en lo ambiental, orientando a los SSP inclusive a la restauración de áreas degradadas por la excesiva carga animal.

Algunos productores del bajo Delta ya comenzaron a adoptar la nueva silvicultura que propone un uso más diversificado del árbol y del ambiente, la cual constituye el objetivo principal del presente estudio de Tesis de Maestría. Esta silvicultura fue diseñada para producir mayor volumen de madera por planta para múltiples destinos, y en el caso particular de los Sistemas Silvopastoriles, además, forraje y carne de calidad. Esto exige un ordenamiento del predio identificando en principio el sitio más adecuado para cada clon en cultivo.

En los sitios de plantación más aptos para álamos una alternativa de interés consiste en la utilización de guías de 1 ó 2 años de edad, de 3,5 a 8,0 m de largo, sin raíz. Los estaqueros que proporcionan estos materiales requieren como hemos visto y analizado, distancias de plantación mayores que las tradicionales, los mejores sitios de plantación y un manejo intensivo del mismo con el objetivo de lograr producir materiales de propagación con un Índice de Sinuosidad cercano a 1 y un buen Coeficiente de Esbeltez. Sin embargo, no existen antecedentes sobre manejo de estaqueros para proveer de material adaptado a esta nueva práctica silvícola en el marco de un uso silvopastoril. La preparación del terreno exige además de un aplastado de la vegetación natural espontánea, una marcación de los hoyos y un hoyado que puede hacerse a pala o con hoyadora. Predominan los marcos de plantación de formas cuadradas (5x5 m y 6x6 m). Las guías se entierran a 0,80 m ó 1 m de profundidad y se rellenan los hoyos con suelo de la primera capa, muy rico en materia orgánica.

Pueden implementarse SSP, ingresando los animales tempranamente a la plantación. El manejo del agua en el rodal y la menor densidad de árboles optimizan el desarrollo de árboles y pastos, brindando a su vez mayor bienestar al ganado. En tal sistema, el escaso volumen de material combustible debajo de las plantaciones minimiza la posibilidad de avance de fuegos de superficie típicos del Delta.

La nueva silvicultura propuesta exige la mayor diversidad posible de clones en cultivo y proporciona (i) mayor volumen de madera de calidad para usos diversos (aserrado, debobinado, triturado, pulpa forraje y otros usos industriales), (ii) mayor crecimiento individual por planta, (iii) mejor homogeneidad del cultivo, (iv) mayores porcentajes de fustes cilíndricos, (v) mayor período de plantación (mayo-agosto), (vi) mayor prendimiento de plantas, (vii) mayor acceso al agua de la napa freática. Asimismo esta silvicultura provee una mayor cantidad de forraje (y consecuentemente mayor producción ganadera) bajo las plantaciones debido a un mejor manejo del agua de la napa freática dentro del sistema, al utilizar mayores distanciamientos de plantación y al emplear alturas de poda generalmente iguales o mayores a 7 m.

Además, se lograría (i) un menor ataque de royas por mayor aireación de las plantaciones, (ii) una menor cantidad de plantas afectadas por cancrrosis debido a stress hídrico en veranos secos, (iii) disminución de pérdida de plantas por heladas tardías, (iv) menor ataque de hormigas, (v) menor porcentaje de madera de tensión, (vi) menor volumen de madera manchada por aguas estancadas, (vii) menor cantidad de plantas muertas en pie y (viii) una menor competencia con las malezas y riesgo de incendios forestales porque el forraje está siempre verde y disponible para el ganado.

En veranos secos, el buen estado de las redes de drenaje y el sistema de bombeo o de compuertas facilitan el ingreso del agua a los rodales, mientras que en períodos lluviosos se eliminan por estos mismos medios, los excedentes de agua con facilidad. En estos SSP se puede producir madera de calidad y carne bovina con un mayor bienestar animal. Por otra parte, el agua y forraje dentro de los predios incentivan la presencia de ciervos de los pantanos y de aves como el hocó y el carau y mamíferos acuáticos como el carpincho y la nutria, muchas de ellas, especies declaradas en peligro de extinción (Fracassi. Comunicación Personal).



Foto 4.2: Sistema silvopastoril de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' de 6 años de edad instalado de guías de dos años de edad (G2) en el bajo Delta del Río Paraná.

4.4 Líneas futuras de investigación: Para un mejor entendimiento en la implementación de los sistemas Silvopastoriles con salicáceas en el Delta sería conveniente profundizar en los siguientes aspectos:

- Estudiar los sistemas utilizando densidades de plantación menores a las actuales, procurando prolongar la oferta de forraje del pastizal nativo hasta el turno de corta final.
- Realizar estudios en viveros para producción de guías de diferentes edades con otros clones de álamo muy plantados comercialmente en la región.
- Analizar los taninos en las hojas de álamo identificando si este componente puede tener relación con la falta de palatabilidad de las hojas desde aproximadamente mediados del verano hasta la caída de sus hojas en otoño.
- Estudiar el posible efecto antihelmíntico de las hojas de álamo en el ganado vacuno y en qué estado fenológico de la plantación se manifiesta con mayor intensidad.
- Analizar la evolución de las pasturas naturales espontáneas utilizando diferentes implementos de labranza y tipo o categorías de animales, identificando los disturbios que facilitan la aparición de especies de buen valor forrajero.
- Caracterizar los estados fenológicos de los diferentes pastos que componen el sotobosque para facilitar el manejo de las pasturas.
- Realizar estudios de compactación en los suelos a fin de prevenir la erosión de los mismos y/o la pérdida de productividad de las pasturas.

4.5 Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que es posible acelerar el ingreso del ganado de cría al SSP con álamos utilizando guías como material de propagación con un DAP igual ó mayor a los 6 cm, de uno, dos ó tres años de edad, en sitios de muy buena calidad forestal. La disponibilidad de forraje de calidad podría evitar o minimizar los daños ocasionados por el ganado como el descortezamiento de las guías. El disturbio provocado en el ambiente por el manejo del agua, las labores culturales de preparación del terreno y el pastoreo de los animales favorece la aparición de especies vegetales espontáneas de mayor valor forrajero que las originales. Es posible producir madera de calidad para usos múltiples, forraje, carne y pasturas naturales espontáneas en los SSP del bajo Delta del Río Paraná.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Acciaresi, H., Ansin, O. & R. Marlats. 1994. Sistemas Silvopastoriles: efectos de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsh). Agroforestería en las Américas.
- Addlestone B., Mueller J. & J. Luginbuhl. 1999. The establishment and early growth of three leguminous tree species for use in silvopastoral systems of the southeastern USA. *Agroforestry Systems* 44:253-265. Netherlands.
- Alonzo A. & R. Sancho. 1964. Topófitis en la elección de estacas de salicáceas para plantación. *Revista IDIA. Suplemento Forestal*. 1,15-22.
- Anderson, MC. 1964_a. Light relations of terrestrial plant communities and their measurement. *Biological Reviews* 39:425-486.
- Anderson, MC. 1964_b. Studies of the woodland light climate I. The photographic computation of light condition. *Journal of Ecology* 52:27-41.
- Alamgir, M. & M. Al-Amin. 2008. Allometric models to estimate biomass organic carbon stock in forest vegetation. *Journal of Forestry Research* 19(2):101-106.
- Altesor, A., Di Landro, E., May, H. & E. Ecurra. 1998. Long-term species change in an Uruguayan grassland. *Journal of Vegetation Science*, 9:173-180.
- Ball J., Carle J. & A. Del Lungo. 2005. Contribución de álamos y sauces a la silvicultura sostenible y al desarrollo rural. *Unasylya* 221, Vol. 56.
- Barnes, B., Zak D., Denton, S. & S. Spurr. 1998. *Forest Ecology*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Barigah, T., Guittet, J., Mousseau, M., Pontailier, J.Y., Saugier, B., Dreuillaux, J.M., Legay, B. & J. Liebert. 1990. Physiological constraints on productivity of poplar clones. En: *Biomass for energy and industry, vols 1 and 2 – Policy, environment, production and harvesting / conversion and utilisation of biomass: a424-a428* (Grassi G., Gasse G., Dossantos G., eds.). International conf on biomass for energy and industry Lisbon, Portugal, oct 09-13, 1989.
- Bazzaz F., 1997. Allocation of resources in plants: state of the science and critical questions. En: *Plant resource allocation* (Bazzaz F., Grace J., eds). Academic Press, NewYork, USA. pp. 1-37.
- Beadle CL, Honeysett, J.L., Turnbull, C., & D. White. 1995. Site limits to achieving genetic potential. In Potts B, N Borralho, J Reid, R Cromer, W Tibbits, C Raymond eds. *Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality*. Proceedings CRC Temperate Hardwood Forestry - IUFRO Conference, 19-24 Feb 1995. Hobart, Australia, p. 325-331.
- Benavides, J.E. 2006. Árboles forrajeros en América Central. In [Seminario Centroamericano y del Caribe sobre Agroforestería con Rumiantes menores. Memorias](#). Conferencias Magistrales. San José de Costa Rica.
- Benfeld E., Feldhake C. & J. Burger. 2001. Establishing trees in an Appalachian silvopasture: response to shelters, grass control, mulch and fertilization. *Agroforestry Systems* 53:291-295. Netherlands.

- Bennet, I., Finch, A. & C. Holmes. 1985. Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 13:227-236.
- Betancourt, K., Ibrahim, M., Harvey, C. & B. Vargas. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. Vol. 10. N°39-40.
- Bonfils C. 1962. Los suelos del Delta del Río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. *Revista de Investigación Agrícola*. INTA. T.XVI, N°3. Buenos Aires Argentina.
- Braun-Blanquet, J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Ediciones Blume, Madrid. 820 pp.
- Bray R. & L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Bremner J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agr. Sci.* 55:1-23.
- Briggs L. J. & J. W. Mc Lane. 1907. U.S. Department Agricultural. *Agric. Bur. Soils Bull.* 45.
- Bunse, G. & T. Cerrillo. 1988. Efecto de la topófisis en clones de sauces y álamos. In: *Actas VI Congreso Forestal Argentino*. Tomo II, 410-412. Santiago del Estero.
- Burguess, P., Incoll, L., Corry, D., Beaton, A. & B. Hart. 2004. Poplar (*Populus* spp.) growth and crop yields in a silvoarable experiment at three lowland sites in England. *Agroforestry Systems*. 63:157-169. Netherlands.
- Burkart A., 1957. Ojeada sinóptica sobre la vegetación del delta del río Paraná. *Darwiniana*. 11(3):545.
- Cabrelli D., Rebottaro S. y D. Efron. 2006. Caracterización del dosel forestal y del microambiente lumínico en rodales con diferente manejo, utilizando fotografía hemisférica. *Quebracho* N°13(17-25).
- Callaway, R. & L. Walker. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78: 1958-1965.
- Cameron, D. 2003. Trees and pasture – An overview. Proceedings of “Using trees on farms workshop” organized by the New Zealand Grassland Association and the New Zealand Farm Forestry Association Palmerston North, Charlton, J.F.L. (ed.). *Grassland Research and Practice*., Series 10, 5-6.
- Cannell, M.G.R. 1989. Physiological basis of wood production: a review. *Stand. J. For. Res.* 4, 459-490.
- Cannell, M. 1999. Growing trees to sequester carbon in the UK: answer to some common questions. *Forestry* 72, 237-247.
- Cañelas, I., Huelin, P., Hernández, M., Ciria, P., Calvo, R., Gea-Izquierdo, G. & H. Sixto. 2012. The effect of density on short rotation *Populus* sp. Plantations in the Mediterranean area. *Biomass and Bioenergy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe>. 2012.06.032.

- Carou, N., De Loof, E., Casaubón, E., González, A. & M. Dallorso. 2010. Mineral composition of willow and poplar leaves of nutritional interest for cattle in silvopastoral systems at the delta of the Paraná River, Argentina. *Revista Livestock Research for Rural Development*. Vol. 22, N°1. ISSN 0121-3784. www.lrrd.org/lrrd22/1/cont2201.htm.
- Carmona, A., Bagnat, R. & A. Alvarez. 1985. Estudio de topófisis en tres híbridos de álamos. In: *Actas II Jornadas Forestales Patagónicas*. Esquel. Pp 101-116.
- Carranza, C. & M. Ledesma. 2009. Bases para el manejo de Sistemas Silvopastoriles. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires. Argentina.
- Carvalho, M., Castro C., Yamaguchi, L., Alvim, M., Freitas, V. & X. Ferreira. 2003. Two methods for the establishment of a silvopastoral system in degraded pasture land. *Livestock Research for Rural Development* 15 (12). Retrieved January 1, 2000, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/12/carv1512.htm>.
- Casaubón, E., Spagarino, C., Cueto, G. & A. Gonzalez. 2001. Enraizamiento de guías de *Populus deltoides* en el Delta del Río Paraná. XVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia.
- Casaubón, E. 2003. Nuevos materiales de multiplicación y distanciamientos en Salicáceas. La Cooperativa. N° 13. Pg. 18.
- Casaubón, E., Cueto, G. & L. Gómez. 2004. Relaciones entre el sitio y la productividad en las Salicáceas del Delta del Paraná. Investigación Forestal al Servicio de la Producción II. Resultados aplicados al cultivo de bosques y la producción de madera en Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Proyecto Forestal de Desarrollo. Segunda entrega. Bloque 4, p. 214-220. ISBN 987-9184-36-X.
- Casaubón, E., Gurini, L., Cueto, G., Arano, A., Torrá, E., Corvalán, G., González, A. & S. Ortiz. 2005. Evaluación del efecto de diferentes labores culturales en un sistema silvopastoril de álamo en el bajo delta bonaerense del Río Paraná. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes.
- Casaubon, E., Cueto, G., González, A., Spagarino, C. & S. Ortiz. 2005. Resultados preliminares de dos ensayos orientativos de épocas de poda en *Populus deltoides* cv *Stoneville 67* en el bajo delta bonaerense del Río Paraná. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes. Septiembre.
- Casaubón, E., Cueto, G. & A. González. 2006. Comportamiento dasométrico de plantas provenientes de diferentes materiales de multiplicación en un ensayo de *Populus deltoides* `106/60´ del bajo Delta del Río Paraná. Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires.
- Casaubon, E.; González, A. & M. Fernández. 2009. Comportamiento ambiental de empresas forestales en el bajo delta del río Paraná. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires. Argentina.
- Casaubon, E., Cueto, G. & G. Madoz. 2011. Comportamiento dasométrico de diferentes materiales de propagación de *Populus deltoides* `Australia 106/60´ en el Delta del Paraná. 3^{er} Congreso Internacional de Salicáceas. Neuquén.
- Casaubon, E. & J. Tassano Viaña. 2012a. Manual de Buenas Prácticas Forestales para obtención de madera de álamo de calidad para usos múltiples en el Delta Inferior

del Río Paraná. Versión Nro 1. ISSN 1514-5638. 86 pp.

- Casaubon, E., Arano, A. & J. Tassano Viaña. 2012b. Manual de Buenas Prácticas Silvopastoriles para obtención de madera de álamo de calidad para usos múltiples y ganado de carne bovina en el Delta Inferior del Río Paraná. Versión Nro 1. ISSN 1514-5638. 121 pp.
- Casella, E. & R. Ceulemans. 2002. Spatial distribution of leaf morphology and physiological characteristics in relation to local radiation regime within the canopies of 3-year-old *Populus* clones in coppice culture. *Tree Physiol.* 22, 1277-1288.
- Ceulemans, R., Scarascia-Mugnozza, B.M., Wiard, J.H., Braatne, J.H., Hinckley, T.M., Stettler, R.E., Isebrands, J.G. & P.E. Heilman. 1992. Production physiology and morphology of *Populus* species and their hybrids grown under short rotation: I. Clonal comparisons of 4-year growth and phenology. *Can. J. For. Res.* 22, 1937-1947.
- Ceulemans, R. & W. Deraedt. 1999. Production physiology and growth potential of poplar under short-rotation forestry culture. *For. Ecol. Manage.* 121, 9-23.
- Ciria M., González E. & J. Carrasco. 2002. The effect of fertilization and planting density on biomass productivity of poplar harvested after three-years rotation. 12th European Conference and technology exhibition on biomass for energy, industry and climate protection. Vol I, pp. 283-286.
- Clason, T. 1998. Un estudio para entender el comportamiento de sistemas con: árboles, forraje y ganado. Agroforestería por dentro. www.unl.edu/nac/insideagroforestry/1998verano.pdf
- Clavijo, M., Nordenstahl, M., Gundel, P. & E. Jobbagy. 2005. Poplar afforestation effects on grassland structure and composition in the flooding Pampas. *Society for Range Management. SRM Online Journals.*
- Collins, S. H. 1906. Scheiblers apparatus for the determination of carbonic acid in carbonates; an improved construction and use for accurate analysis. *J. Soc. Chem. Ind.* 25;518-522.
- Comisión Nacional del Álamo de Argentina. 2000. Informe Nacional. <http://www.fao.org/forestry/6453-07841758e89afdb7009edfc498fb3b335.pdf>.
- Conaf-Infor. 1997. Monografía de álamo (*Populus spp.*). Potencialidad de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional. 143 p. Santiago de Chile.
- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical Rain Forests and coral Reefs. *Science* 199: 1302-1309.
- Corcuera, L., Maestro, C. & E. Notivol. 2005. La ecofisiología como herramienta para la selección de clones más adaptados y productivos en el marco de una selvicultura clonal con chopos. *Invest. Agrar: Sist Recur For.* 14(3), 394-407.
- Cortizo, S. 2011. Mejoramiento genético del álamo, una ciencia en apoyo a la producción forestal sostenible. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén.

- Cherry, M., Hingston, A., Battaglia, M. & C. Beadle. 1998. Calibrating the LI-COR LAI-2000 for estimating leaf area index in eucalypt plantations. *Tasforests* Vol. 10: 75-82.
- Choong, M., Lucas, P., Ong, J., Pereira, B., Tan, H. & Y. Turner. 1992. Leaf fracture toughness and sclerophylly: their correlations and ecological implications. *New Phytologist*, 122: 597-610.
- Daversa, D. 2005. Agroforestry System in Northern China: Their potentials for economic development and environmental improvement. Virginia Polytechnic and State University.
- Dawson, M. W., McCracken, A., & D. Carlisle. 2005. Short-rotation Coppice Willow Mixtures and Yield in Rust disease of Willow and Poplars edited by Ming Hao Pei & Alistair R. McCracken. CAB International: 195-208.
- De Fina, A. & A. Rabelo. 1979. Climatología y fenología Agrícolas. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 3° Edición. 351 pp.
- Delta t Devices Ltd. 1999. Hemiview. User manual Version 2.1 Cambridge, UK.
- Dezzotti A. 2008. Acumulación y asignación de biomasa en renovales de tres especies de *Nothofagus* en los extremos de un gradiente de luz en claros de un bosque subantártico. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 17(1), 18-30. ISSN:1131-7965.
- Dillen, S., Rood, S. & R. Ceulemans. 2010. Growth and Physiology. Ed: S. Jansson *et al.* Genetics and Genomics of *Populus*: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 8. Springer Science: 39-63.
- Dickmann, D.I. & D.E. Keathley. 1996. Linking physiology, molecular genetics, and the *Populus* ideotype. In: Stettler, R.F., Bradshaw, Jr., H.D., Heilman, P.E., Hinckley, T.M. (Eds.), *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. Part II. Chap. 15. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, pp. 491-514.
- Dickmann, D. 2001. An overview of the genus *Populus*. Ed: Dickmann, D.I., Isebrand, J.G., Eckenwalde, J.E., and Richardson, J. *Poplar culture in North America*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canadá: 1-42.
- Douglas, G., Walcroft A., Hurst S., Potter J., Foote A., Fung L., Edwards W. & C. Dijssel. 2006. Interactions between widely spaced young poplars (*Populus* spp.) and the understorey environment. *Agroforestry Systems* 67:177-186. Netherlands.
- Dulormne, M., Sierra, J., Bonhomme, R. & Y.M. Cabidoche. 2004. Seasonal changes in tree-grass complementarity and competition for water in a subhumid tropical silvopastoral system. *European Journal of Agronomy* 21, 311-322.
- Durlo, M. & L. Denardi. 1998 Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 1(8): 55-67.
- Eason, W., Gill, E. & J. Roberts. 1996. Evaluation of anti-sheep tree-stem-protection products in silvopastoral agroforestry. *Agroforestry Systems* 34:259-264. Netherlands.
- Edwards, W. & W. Kisson. 1975. Effect of soaking and deep planting on vegetative

propagation of *Populus* and *Salix*. 15th Session J.P.C. FO: CIP/75/45.12pp.

- Englund, S., O'Brien, J. & D. Clark. 2000. Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densiometry for measuring forest light environments. *Can J For Res* 30:1999-2005.
- Ericsson, T., Rytter, L. & S. Linder. 1992. Nutritional dynamics and requirements of short rotation forests. En: *Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops*. Elsevier Science Publishers Ltd., Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England. 308 p.
- FAO. 1957. Los Chopos en la producción de madera y la utilización de las tierras. Colección FAO N° 12, Roma, Italia. 525 pp.
- FAO. 1980. Los Álamos y los sauces. Colección FAO: Montes N° 10, Roma, Italia. 349 pp.
- FAO. 1984. Boletín de Suelos N° 10. Métodos físicos y químicos de análisis de suelo y agua. Roma.
- FAO. 2004. Síntesis de los Informes Nacionales de Progreso. Actividades relacionadas con el cultivo y utilización de álamos y sauces, de 2000 a 2003. 22° Reunión de la Comisión Internacional del Álamo. Chile.
- FAO, 2008. Los álamos, los sauces y el bienestar de las poblaciones. Síntesis de los informes nacionales de progreso. Actividades relacionadas con el cultivo y utilización de álamos y sauces de 2004 a 2007. 23^a Reunión de la Comisión Internacional del Álamo. Beijing. China.
- Fernández, H. 1997. La taxocenosis de hidrácaros bentónicos de los ríos de las Sierras Centrales y del Noreste de la Provincia de Tucumán, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Tucumán. 152 pp.
- Fike, J., Buergler, A., Burger, J. & R. Kallenbach. 2004. Considerations for establishing and managing silvopastures. Online. *Forage and grazinglands*. Online. www.plantmanagementnetwork.org. 15/11/06.
- Frazer G.W., Fournier R.A., Trofymow J.A. & R.J. Hall. 2001. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. *Agric. For. Meteorol.* 109:249-263.
- Frison, G., 1972. Prove di radicamento con piopelle di *Populus deltoides* Bartr. var. *deltoides*. *Cellulosa e Carta* 11, 29-58.
- Gakis, S., Mantzanas, K., Alifragis, D., Papanastasis, V., Papaivannou, A., Seilopoulos, D. & P. Platis. 2004. Effects of understorey vegetation on tree establishment and grow in a silvopastoral system in northern Greece. *Agroforestry Systems* 60:149-157. Netherlands.
- Gaute, M., Mari, N., Borodowski, E. & C. Di Bella. 2007. Elaboración de un sistema de información geográfica para el monitoreo de polders en el Bajo Delta Bonaerense durante el período 1985-2005. *TELEDETECCIÓN - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional* Ed. Martín, 2007 465-470. XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional, 323-329. ISBN: 978-987-543-126-3. Mar del Plata, Argentina.

- González G., Rossi C., Pereyra A., De Magistris A., Lacarra H. & E. Varela. 2008. Determinación de la calidad forrajera en un pastizal natural de la región del delta bonaerense argentino. *Zootecnia Tropical*, 26(3):223-225.
- González Hernández, M., Starkey, Y. & J. Karchesy. 1999. Variación en el contenido de taninos en plantas del monte gallego. *Pastos*. XXIX (1), 67-77.
- Gurini, L. 1998. Evaluación de la productividad de sistemas silvopastoriles en el Delta del Paraná. PIA 37/98. Proyecto SAGPyA-BIRF.
- Heady, H. & R. Child. 1994. *Rangeland Ecology & Management*. Westview Press. Boulder, San Francisco, Oxford. 519 pp.
- Hernández S. & J. Benavides. 1995. Potencial forrajero de especies leñosas de los bosques secundarios de El Petén, Guatemala. *Agroforestería en Las Américas*. Año 2 N° 6. Pp 15-22.
- Hinckley, T.M., Braatne, J., Ceulemans, R. & P. Clum. 1992. Growth Dynamics and Canopy Structure. En: *Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops*. Elsevier Science Publishers Ltd., Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England. 308 p.
- Ibrahim M., Villanueva C., Casasola F. & J. Rojas. 2006. Sistemas Silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y Forrajes*. 29(4):383.
- IKRAF. 1989. Annual report. Nairobi, Kenia. Sp.
- Infostat, 2004. InfoStat versión 2004. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- INTA. 1973. Estudio preliminar para el diagnóstico regional del Delta". *Rev. Delta del Paraná*, 13(14).
- Isebrands, J. & D. Karnosky, 2001. Environmental benefits of poplar culture. In *Poplar Culture in North America*. Eds. D. Dickman, J. Isebrands, J. Eckenwalder and J. Richardson. NRC Research Press, Ottawa, Canada, pp 207-218.
- Jobling, J., 1990. Poplar for wood production and amenity. HMSO, London. Comment: Forestry Commission Bulletin 92.
- Kandus, P. 1997. Análisis de patrones de vegetación a escala regional en el bajo Delta bonaerense del Río Paraná (Argentina). Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 241 pp.
- Kandus, P., Quintana, R. & R. Bó. 2006. Patrones de paisaje y biodiversidad del Bajo Delta del Río Paraná. Mapa de ambientes. 1^{era} Ed. Grupo de Investigaciones en Ecología de Humedales. Dpto de Ecología, Genética y Evolución. FCE y N, UBA. Buenos Aires. 48 pp.
- Kemp, P., Barry, T., & G. Douglas. 2003. Edible forage yield and nutritive value of poplar and willow. Proceeding of "Using trees on farms workshop" organized by the New Zealand Grassland Association and the New Zealand Farm Forestry Association, Charlton, J.F.L. (ed.). *Grassland Research and Practice*, Series N° 10, 53-56.
- Knowles, R. 1988. Work of the agroforestry project team. An outline. In *Agroforestry Symposium (1986, Rotorua, NZ.)* Proceeding Ed by P. Maclaren FRI Bulletin

No 139. P113-120.

- Klopfenstein, N., Clason, T., Sharrow, S., Garret G., & B. Anderson. 1997. Silvopastoreo: Una práctica agroforestal. Notas de Agroforestería. AF-8. Online. www.unl.edu/nac/agroforestrynotes/an08s01-e.pdf.
- Krebs, C. 1989. Ecological Methodology. Harper & Row. New York, E.E.U.U. 470 pp.
- Kozlowski, T.; Kramer, P. & S. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press. New York.
- Kurtz, L. & R. Bray. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59:39-45.
- Lacorte, S. & J. Esquivel. 2009. Sistemas Silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina. Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones. Argentina. Pg 70-82.
- Larocque, G. 1999. Performance and morphological response of the hybrid poplar DN-74 (*Populus deltoides* x *nigra*) under different spacings on a 4-year rotation Ann. For. Sci. Volume 56, Number 4. Pg. 275-287.
- Lefroy, E., Dann, P., Wildin, R., Wesley-Smith, R. & A. Mc Gowan. 1992. Agroforestry Systems 20:117-139. Netherlands.
- Lehmkuhler, J., Felton, E., Schmidt, D., Bader, K. Garret, H. & M. Kerley. 2003. Tree protection methods during the silvopastoral system establishment in Midwestern USA: cattle performance and tree damage. Agroforestry Systems 59:35-42. Netherlands.
- Leopold, A. & P. Kriedemann. 1975. Plant growth and development. Mc Graw Hill. New York.
- Leslie, D., Starkey, V. & M. Vavra. 1984. Elk and deer diets in old-growth forests of western Washington. J. Wildl. Manage., 48, 762-775.
- MAGyP. 2010. Mapa de plantaciones forestales del Delta. Sistema de Información Geográfica e inventario forestal. Dirección de Producción Forestal del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Nación. <http://deltaforestal.blogspot.com.ar>.
- Malvárez, I. 1997. Las comunidades vegetales del Delta del Río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones de paisaje. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 167 pp.
- Mantovani, E. 1993. Pioppeto: non è semplice, ma può essere conveniente. Terra e Vita N° 33:32-35.
- Marron, N., Villar, M., Dreyer, E., Delay, D., Boudouresque, E., Petit, J-M., Delmotte, F.M., Ghehl, J.M. & F. Brignolas. 2005. Diversity of leaf traits related to productivity in 31 *Populus deltoides* x *Populus nigra* clones. Tree physiol. 25, 425-435.
- Martínez Pastur, G., Buduba, C., Boyeras, F., Abedini, W. & J. Beltrano. 1994. Análisis de la ciclófisis y la topófisis en *Populus deltoides* Bartr desde la formación en estaquero hasta una plantación comercial. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales Vol. 3 (2).

- May, S. 1959. La tenuta agraria Nobili-Nichetti culla di un originale sistema di coltivazione del pioppo. *Cellulosa e Carta*. X.9.5-16.
- Mead, D. 2009. Biophysical interactions in silvopastoral systems: a New Zealand perspective. 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones.
- McAdam, J. 2003. An evaluation of tree protection methods against Scottish Blackface sheep in an upland agroforestry system. *Forest Ecology and Management*. 45:119-125.
- McConnaughay, K. & J. Coleman. 1999. Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? A test along three resource gradients. *Ecology* 80:2581–2593.
- McWilliam, E., Barry, T., Lopez-Villalobos, N., Cameron, P. & P. Kemp. 2004. The effect of different levels of poplar (*Populus*) supplementation on the reproductive performance of ewes grazing low quality drought pasture during mating. *Animal Feed Science and Technology*. Vol 115, ISSUES 1-2, pg 1-18.
- Mole, S. & P. Waterman. 1987. Tannins as antifeedants to mammalian herbivores: still an open question?. En *Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry*, 572-587. Ed. G.R. Waller. American Chemical Society. Washington DC (EEUU).
- Molnar, J.M. & W.A. Culmning. 1968. Effect of CO₂ on propagation of softwood, conifer and herbaceous cuttings. *Can. J. Plant Sci.* 48, 595-599.
- Montagnini F., 2008. Management for sustainability and restoration of degraded pastures in the Neotropics. In: Myster, R. Post-agricultural succession in the Neotropics. Springer, New York, 265-295.
- Monteith, J.L. & M.H. Unsworth. 1990. *Principles of Environmental Physics*. Edward Arnold, London.
- Murgueitio E., Arellar P., Ibrahim M., Gobbi J., Cuartas C., Naranjo J., Zapata A., Mejía C., Zuluaga A. & F. Casasola. 2006. Adopción de sistemas agroforestales pecuarios. *Pastos y Forrajes*, 29(4):365-383.
- Nair, P.K. 1989. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3:97-128. Dordrecht, Netherlands.
- Nanda K.K., Jain M.K. & S. Malhotras. 1971. Effect of glucose and auxins in rooting etiolated stem segments of *Populus nigra*. *Ibid.* 24, 387-391.
- Niinemets Ü., Al Afas N., Cescatti A., Pellis A. & R. Ceulemans. 2004. Petiole length and biomass investment in support modify light-interception efficiency in dense poplar plantations. *Tree Physiol.* 24, 141-154.
- Novak, J. & A. Long. 2003. Establishment of integrated timber, forage and livestock silvopastoral systems in the southeast. A review. Proceeding of sod based cropping systems conference. North Florida Research and Education Center-Quincy. University of Florida.
- Oliver, C. & B. Larson. 1996. *Forest stand dynamics*. Update edition. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Pagiola S., Agostini P., Gobbi J., De Haan C., Ibrahim M., Murgueitio E., Ramírez E., Pattanayak S., Mercer D., Sills E. & J. Yang. 2003. Taking stock of agroforestry adoption studies. *Agroforestry Systems*, 57:173-186.

- Pattanayak S., Mercer D., Sills E. & J. Yang. 2003. Taking stock of agroforestry adoption studies. *Agroforestry Systems*, 57:173-186.
- Paul, R., Turner, L. & B. Larson. 1999. Effects of shade on production and body temperatures of grazing beef cows. In 2000 Ky Beef Cattle Report. <http://www-bae.uky.edu/ext/publications/AEUs/aeu-91.pdf>.
- Pearcy, R. W. 1990. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 41: 421-453.
- Pearcy, R. W. 1999. Responses of plants to heterogeneous light environments. Páginas: 269-314 *En*: F. I. Pugnaire y F. Valladares, edit. *Handbook of functional plant ecology*. Marcel Dekker, New York.
- Peech, M., Alexander, L., Dean, L. & J. Reed. 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S. Dept. Agr. 757:25pp.
- Pellis, A., Laureysens, R. & R. Ceulemans. 2004. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar I. Clonal differences in leaf characteristics in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy* 27, 9-19.
- Percibal, N., Hawke, M., Bond, D. & B. Andrew. 1984. Relationship between Radiata pine and understorey pasture production. In *Agroforestry Symposium (1984, sl, NZ)*. Proceedings. FRI Bulletin No 139 s.p.
- Peri, P. 2006. PNFOR3222. `Instalación y manejo del componente forestal en sistemas silvopastoriles. Silvicultura para mejorar la producción del sistema'. Proyecto Integrado PNFOR3 Sistemas Silvopastoriles: Interrelaciones entre componentes, producción y sustentabilidad ambiental, económica y social. INTA.
- Peri P. 2009. Sistemas Silvopastoriles en Patagonia: revisión del conocimiento actual. 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones. Argentina. Pg. 10-26.
- Peri, P. 2012. Implementación, manejo y producción en Sistemas Silvopastoriles: enfoque de escalas en la aplicación del conocimiento aplicado. 2^o Congreso Nacional de sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero. Argentina. Pg. 8-21. ISBN 978-987-679-123-6.
- Perry D. 1994. *Forest ecosystem*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, USA. 649 p.
- Pilipovic, A., Orlovic, S., Nikolic, N. & Z. Galic. 2006. Investigating potential of some poplar (*Populus* sp.) clones for phytoremediation of nitrates through biomass production. *Environmental Applications of Poplar and Willow Working Party*. 18-20 May 2006, Northern Ireland.
- Pincemin J., Monlezun, S., Zunino, H., Cornaglia, P. & E. Borodowski. 2007. Sistemas Silvopastoriles en el Delta del Río Paraná: Producción de madera seca y estructura de gramíneas templadas bajo álamos. APPA ALPA-Cuzco, Perú.
- Plevich, J., Nuñez, C., Cantero, J., Deaestri, M. & S. Viale. 2002. Biomasa del pastizal bajo diferentes densidades de pino (*Pinus elliottii*). *Agroforestería de las Américas*. 33- 34: 19-23.
- Prevosto, M. 1971. Una nuova piantatrice per pioppi. *Cellulosa e Carta* XXII(5).
- PTR. 2009. Plan de Tecnología Regional 2009-2011. INTA. Centro Regional

- Buenos Aires Norte. Pergamino. Buenos Aires. Argentina. 24pp.
- Pukkala, T., Becker, Kuuluvainen T. & P. Oker-Blom. 1991. Predicting spatial distribution of direct radiation below forest canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 55:295-307.
- Pyke G., Pulliam H. & E. Charnov. 1977. Optimal foraging: a selective review of theory and tests. *Q. Rev. Biol.* 52, 137-154.
- Pyke, C.M. 1984. Optimal Foraging Theory: A critical review. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 15:523-575.
- Read, J. & R. Ridgell. 1921. On the use of the conventional carbon factor in estimating soil organic matter *Soil Science*, Vol 13 N° 1 1:6.
- Reich, P. B.; Walters, M. B. & D.S. Ellsworth. 1992. Leaf Life-Span in Relation to Leaf, Plant, and Stand Characteristics among Diverse Ecosystems. *Ecological Monographs* 62: 365-392.
- R. Development Core Team. 2004. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>.
- Restrepo, C. 2001. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Salinity Laboratory, U.S. Dept. Agr. Handbook N° 60*, 160pp.
- Rossi C., Torrá E., González G., Lacarra H. & A. Pereyra. 2005. Evaluación de las hojas de álamo y sauce como forraje en un sistema silvopastoril del Delta del Paraná. XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción animal, Tamaulipas, México.
- Rossi, C. 2010. Forraje para la ganadería. Bienes y Servicios Ecosistémicos de los Humedales del Delta del Paraná. *Wetlands International. Fundación humedales*. 32 pp. ISBN 978-987-24710-2-6. <http://lac.wetlands.org/>.
- Rossi, C., Gonzalez, G., De Magistris, A., Carou, N. & E. De Loof. 2012. Contenido Proteico en Forrajes en un Sistema Silvopastoril del Bajo Delta del Paraná. 2° Congreso Nacional de sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero. Argentina. Pg. 8-21. ISBN 978-987-679-123-6.
- SAGPYA. 1999. Argentina. Oportunidades de Inversión en Bosques Cultivados. 208 pp.
- Sanhueza, A. 1998. Cultivo del álamo. (*Populus spp.*). Parte 1. Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile, Chile. 132 pp.
- Sanhueza, A. 1998. Cultivo del álamo. (*Populus spp.*). Parte 2. Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile, Chile. 214 pp.
- Schlegel, B., Gayoso, J. & J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos: Muestreos de biomasa forestal. Proyecto FONDEF D9811076. Universidad Austral de Chile. www.uach.cl/proforma/carbono/manmuesbio.PDF.
- Schroth, G. 1999. A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on

- mechanisms and management options. *Agrof. Syst.* (43):5-34.
- Schultz, R.C., Colletti, J., Isenhardt, T., Marquez, C., Simpkins W. & C. Ball. 2000. Riparian forest buffer practices. In *North American Agroforestry: an Integrated Science and Practice*. Eds. H.E. Garrett, W.J. Rietveld and R.F. Fisher. Am. Soc. Agron., Madison, WI, pp 189–281.
- Sequeira, W. & H. Gholz .1991. Canopy structure, light penetration and tree growth in slash pine (*Pinus elliottii*) silvopastoral systems at different stand configurations in Florida. *Forestry Chronicles* 67:263 – 267.
- Sharrow, S. 2001. Effects of shelter tubes on hardwood tree establishment in western Oregon silvopastures. *Agroforestry Systems* 53:283-290. Netherlands.
- Shengzuo, F., Xizeng, X., Xiang, Y. & L. Zhengcal. 2005. Poplar in wetland agroforestry: a case study of ecological benefits, site productivity and economics. *Wetland Ecology and Management*. 13:93-104.
- Shibu J. 2012. Designing sustainable silvopastoral systems: from resource availability to management interventions. II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero. Argentina. Pg. 3-7.
- Shuren, R. & B. Stanton. 2005. Silvopasture with sheep and hybrid poplar. AFTA. Conference Proceedings.
- Sibbald A. , Eason W., McAdam J. & A. Hislop. 2001. The establishment phase of a silvopastoral national network experiment in the UK agroforestry systems 39:39-53.
- Simón, M., Ibrahim M., Finegan, B. & D. Pezo. 1998. Efectos del pastoreo bovino sobre la regeneración de tres especies arbóreas comerciales del Chaco Argentino: un método de protección. *Agroforestería en las Américas*. Vol. 5 N°17-18. ISSN 1022-7482.
- Sing, A., Dhanda, R. & P. Ralhan. 1993. Performance of wheat varieties under poplar (*Populus deltoides* Bartr.) plantations in Punjab (India). *Agroforestry Systems* 22:83-86. Netherlands.
- Sixto, H., Hernández, M., Barrio, M., Carrasco, J. & I. Cañelas. 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 16(3), 277-294. ISSN:1131-7965.
- Smethurst, P., Baillie, C., Cherry, M. & G. Holz. 2003. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. *Forest Ecology and Management* 176: 531-542.
- Somarriba, E. 1997. Pastoreo bajo plantaciones forestales. *Agroforestería en las Américas*. 4(15):26-28.
- Sotomayor, A., Ulloa, A. & G. García. 2004. Agroforestry with *Populus* in Chile. 22° Reunión de la Comisión Internacional del Álamo –IPC 2004- La contribución de álamos y sauces al Manejo Forestal Sostenible y al Desarrollo Rural. Santiago de Chile. Diciembre.
- Sotomayor, A. 2009. Sistemas Silvopastoriles, alternative productive para un desarrollo sustentable de la agricultura en Chile. 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas

Silvopastoriles. Posadas. Misiones. Argentina. 26-48.

- Souch, C.A. & W. Stephens. 1998. Growth, productivity and water use in three hybrid poplar clones. *Tree Physiol.* 18, 829-835.
- Souza de Abreu, M., Ibrahim M., Harvey C. & F. Jiménez. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 7 (26): 53 – 56.
- Suárez, R. & E. Borodowski. 1999. Sistemas Silvopastoriles para la región pampeana y el Delta del Paraná. SAGPyA Forestal N° 13.
- Suárez, R. 2004. Poplars integrated with cattle in an associated and sustainable way. 22° Reunión de la Comisión Internacional del Álamo –IPC 2004- La contribución de álamos y sauces al Manejo Forestal Sostenible y al Desarrollo Rural. Santiago de Chile. Diciembre.
- Suárez, R. 2006. Sistemas Silvopastoriles en la pradera pampeana. SAGPyA Forestal N° 37.
- Sulaiman, Z. 2006. Establishment and silvopastoral aspects of willow and poplar. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Plant Science. Institute of Natural Resources. Massey University. Palmerston North, New Zealand. 235 pp.
- Taranaki Regional Council. 2001. Poplar and Willow varieties available from Taranaki Regional Council. Sustainable Land Management. <http://www.trc.gov.nz/environment/land/pdf/3/35>.
- Thevasthasan, N. & A. Gordon. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry System* 61:257-268.
- Thomas E. 2011. Producción de biomasa de hojas de álamo para uso forrajero en valles irrigados de Patagonia Norte. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén.
- Thornley, J. 1969. A model to describe the partitioning of photosynthate during vegetative plant growth. *Ann Bot.* 33,419-430.
- Torrá, E., Arano, A., Rossi, C. & G. González. 2009. Producción y calidad forrajera de pastizales naturales en sistemas Silvopastoriles del Delta del Paraná. 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones. Argentina. Pg. 471.
- Toscani, H. A. 1980. Implantación de estaqueros de salicáceas sobre cobertura de polietileno negro en la región Delta del Paraná. VIII Congreso Internacional de plásticos en Agricultura. Lisboa. Portugal.
- Tschaplinski, T.J., Tuskan, G.A., Gebre, G.M. & D.E. Todd. 1998. Drought resistance of two hybrid populus clones grown in a largescale plantation. *Tree Physiol.* 18, 653-658.
- Turner N. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. En: *Stress physiology in crop plants* (Mussell h., Staples R.C., Eds). Wiley-Interscience, New York, pp.181-194.

- Ulloa, J. & L. Villacura. 2004. Compañía Agrícola y Forestal El Álamo Ltda. Un sistema de producción integral y sostenible. 22^{da} Sesión de la Comisión Internacional del Álamo. Pg. ID 173.
- Ulloa, J. & L. Villacura. 2005. Contribución de una industria privada de álamos en Chile al desarrollo rural sostenible. *Unasyuva* 221, Vol. 56.
- USDA. 1992. Soil Survey Laboratory Methods manual Soil Survey Investigation Report N° 42 Version 2.0.
- Ustarroz E. 1995. Calidad del heno y su influencia en la respuesta animal. Cuaderno de actualización técnica N°1. INTA PROPEFO. www.produccion-animal.com.ar.
- Valladares, F. 1999. Architecture, ecology and evolution of plant crowns. Páginas: 121-194 *En*: F. I. Pugnaire y F. Valladares, edit. Handbook of functional plant ecology. Marcel Dekker, New York.
- Valladares, F. 2006. La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología*, N° 20. Pp 11-30.
- Vernet, E. 1998. Manual de Consulta Agropecuario 1997/98. Pg. 133.
- Vidali, E. 1973. L'impianto "profondo a palo" delle piopelle di due anni moderna e racionale tecnica per il conseguimento di migliori risultati vegetativi. *Cellulosa e Carta* XXIV(6):53-60.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J., Poorter, H., Valladares, F. & T. Marañón. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *En*: F. Valladares (coord.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Vita, A. 1977. El cultivo de los álamos. Manual N° 4. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago de Chile. 23pp.
- Von Maydell, H. 1985. The contribution of agroforestry to world forestry development. *Agroforestry Systems (Holand)*3:83-90.
- Wang, X., Newman, L., Gordon, M. & S. Strand. 1999. Biodegradation of carbon tetrachloride by poplar trees: results from cell culture and field experiments. In *Phytoremediation and Innovative Strategies for Specialized Remedial Applications*. Eds. A. Leeson and B.C. Allenman. Battelle Press, Columbus, OH, pp133-138.
- Whittaker, R. & G. Woodwell. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *J. of Ecol.* 56: 1-25.
- Yamamoto, K., Kobayashi, K., Nonoda, T., Inoue A & N. Mizoue. 2010. Effect of settings of digital fisheye photography to estimate relative illuminance within forest under low light conditions. *J. For. Res.* 15:283-288.
- Yang, Z., Zhou, S., Zhang, W. & Z. Yang. 2006. Poplar genetic resources in North China: The challenge of sustainable forestry. *Forest Genetic Resources* N° 27. Online. www.fao.org.
- Zhang, Y., Chen, J.M. & J.R. Miller. 2005. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. *Agric. For. Meteorol.* 133:166-181.

- Zhang, X., Zang R. & C. LI. 2004. Population differences in physiological and morphological adaptations of *Populus davidiana* seedlings in response to progressive drought stress. *Plant sci.* 166, 791-797.
- Zsuffa, L., Giordano, E., Pryor, L. & R. Stettler. 1996. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. Ed: Stettler, R.F., Bradshaw, H.D. Jr., Heilman, P.E., and Hinckley, T.M. *Biology of Populus and its implications for management and conservation.* NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada: 515-539.