

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Regeneración de árboles nativos en plantaciones de  
*Pinus taeda* L. en el Norte de Misiones: efectos del  
manejo a nivel del rodal y el paisaje

Luis Javier Ritter

Ingeniero Forestal

Tesis para optar el grado de

Doctor de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP

Director: Dr. Marcelo F. Arturi

Codirectora: Dra. Paula I. Campanello

Asesor académico: Ing. Juan F. Goya

Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales,  
LISEA, UNLP

La Plata, 5 de junio de 2017

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	1
LISTA DE FIGURAS	4
AGRADECIMIENTOS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	16
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	19
Marco teórico	20
Objetivos generales	25
Estructura de la tesis	26
<b>CAPÍTULO 2: EFECTOS DE LAS VARIABLES DEL RODAL, USO PREVIO Y PAISAJE SOBRE LA COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y RIQUEZA DE ÁRBOLES NATIVOS EN PLANTACIONES DE <i>Pinus taeda</i> L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA</b>	28
INTRODUCCIÓN	29
HIPÓTESIS	31
OBJETIVOS PARTICULARES	32
MATERIALES Y MÉTODOS	33
Área de estudio	33
Caracterización de las plantaciones de <i>Pinus taeda</i> y remanentes de bosque nativo en Misiones	34
Diseño de muestreo	36
Muestreo de la regeneración de árboles nativos en las plantaciones de pino	38
Radiación y cobertura del dosel	40
Superficie de bosque nativo en el entorno	41
Muestreo de fragmentos de bosque nativo	42
Uso anterior del suelo	44
Análisis de datos: Riqueza y abundancia	44
Análisis de datos: Modelo espacial	46
Análisis de datos: Composición	46
Distribuciones de la abundancia por clase de tamaño	47
Comparación con bosque nativo	47
	II

RESULTADOS	48
Descripción de los sitios	48
Suficiencia de muestreo	53
Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la riqueza y abundancia de renovales	54
Modelo espacial	60
Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la composición de especies	61
Diferencias entre especies en las distribuciones de tamaño	66
Estructura y regeneración de árboles en los remanentes de bosque nativo	68
DISCUSIÓN	72
Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la riqueza y abundancia	72
Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la composición de especies	75
Estructura y regeneración de árboles en los remanentes de bosque nativo	77
CONCLUSIONES	78
<b>CAPÍTULO 3: EFECTOS DE LAS VARIABLES DEL RODAL Y USO PREVIO SOBRE EL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES NATIVOS EN EL SOTOBOSQUE DE PLANTACIONES DE <i>Pinus taeda</i> L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA</b>	79
INTRODUCCIÓN	80
HIPÓTESIS	82
OBJETIVOS PARTICULARES	83
MATERIALES Y MÉTODOS	84
Sitios de muestreo	84
Especies seleccionadas	84
Análisis de datos	86
RESULTADOS	88
Crecimiento diamétrico de individuos entre 1 y 10 cm de DAP	88
Crecimiento diamétrico de individuos desde 50 cm de altura hasta 1 cm de DAP	100
Relación entre el crecimiento y la distribución de tamaños	111
DISCUSIÓN	112

CONCLUSIONES	115
<b>CAPÍTULO 4: MECANISMOS DE ESTABLECIMIENTO DE ÁRBOLES NATIVOS EN PLANTACIONES DE Pinus taeda L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA</b>	117
INTRODUCCIÓN	118
HIPÓTESIS	120
OBJETIVOS PARTICULARES	121
MATERIALES Y MÉTODOS	121
Muestreo	121
Determinación del mecanismo reproductivo	123
Análisis de datos	123
RESULTADOS	125
DISCUSIÓN	130
CONCLUSIONES	135
<b>CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN FINAL</b>	136
DISCUSIÓN FINAL	137
CONCLUSIONES	145
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	147

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1.</b> Variables estructurales, uso anterior del suelo y bosque nativo en el entorno de los 35 rodales de <i>Pinus taeda</i> muestreados en el Norte de Misiones, Argentina. EDAD: Edad del rodal (años). DCM: Diámetro cuadrático medio (cm). AB: Área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ). DP: Densidad de pinos ( $ind \cdot ha^{-1}$ ). USOP: Uso del suelo previo al establecimiento de la plantación. BN: Bosque nativo en el entorno en un radio de 300 m (%). AD: Abertura del dosel (%). IAF: Índice de área foliar. RTT: Radiación total transmitida (%). .....	37
<b>Tabla 2. 2.</b> Lista de especies arbóreas presentes en las plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Especie: Nombre científico aceptado, marzo 2016. Código: Abreviatura de la especie. Familia: Familia botánica a la que pertenece la especie. NC: Nombre común de la especie más utilizado en Misiones. ....	48
<b>Tabla 2. 3.</b> Abundancia ( $ind \cdot ha^{-1}$ ) de las 20 especies de renovales más abundantes para cada clase de tamaño (clase 1, 2 y 3) en plantaciones de <i>P. taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Total: Suma de las abundancias de las clase de tamaño 1, 2 y 3. Las familias y nombres comunes de las especies se encuentran en la Tabla 2.2. ....	52
<b>Tabla 2.4.</b> Resultados de las regresiones múltiples con la riqueza (número de especies) y la abundancia (número de individuos) de renovales de especies arbóreas nativas sobre la estructura, bosque nativo en el entorno y uso previo en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. A1, A2 y A3: Abundancia de renovales de árboles nativos en las clases de tamaño 1, 2 y 3, respectivamente. R1, R2 y R3: Riqueza de especies en las clases de tamaño 1, 2 y 3, respectivamente. Edad: edad de la plantación (años). AB: área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ). Densidad: $n^{\circ}$ de pinos $\cdot ha^{-1}$ . DCM: Diámetro cuadrático medio (cm). % RTT: Radiación total transmitida (%). % AD: Abertura del dosel (%). IAF: Índice de área foliar específica. BN300: superficie de bosque nativo en el entorno en un radio de 300 m (ha). DBN: distancia al parche más cercano (m). UP2: uso previo forestal, UP3: uso previo bosque nativo. $R^2$ : coeficiente de regresión. ns: no significativo. **: $P < 0,01$ , *: $P < 0,05$ , .: $P < 0,1$ ), : no significativo. ....	58

**Tabla 2.5.** Resultados de las regresiones múltiples con la riqueza (número de especies) y la abundancia (número de individuos) de renovales presentes en las plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina sobre la latitud (y) y longitud (x). CT: Clase de tamaño de renovales. VD: Variable dependiente. Ord.: Ordenada al origen. M: Modelo. \*\* P<0,01, \* P<0,05, .: P<0,1), : no significativo. ...61

**Tabla 2.6.** Resultados de las regresiones múltiples con las tres primeras componentes principales sobre las variables estructurales, paisaje y uso previo para las 3 clases de tamaño de renovales presentes en las plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Edad: edad de la plantación (años). AB: área basal de pinos ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ). Densidad: número de pinos ( $ind \cdot ha^{-1}$ ). DCM: diámetro cuadrático medio de pinos (cm). % RTT: radiación total transmitida (%). % AD: apertura del dosel (%). IAF: índice de área foliar específica. BN300: superficie de bosque nativo en un radio de 300 m (ha). DBN: distancia al parche de bosque nativo más cercano. UP2: uso previo forestal. UP3: uso previo bosque nativo. R2: coeficiente de regresión. Ns: no significativo. Modelo 1: únicamente con variables del rodal. Modelo 2: con variables del rodal y paisaje. Modelo 3: con variables del rodal, paisaje y uso previo. \*\* P<0,01, \* P<0,05, .: P<0,1, : no significativo. ....66

**Tabla 2.7.** Abundancia ( $ind \cdot ha^{-1}$ ) por especie de los renovales de cada clase de tamaño en los fragmentos de bosque nativo y plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Clase 1, 2 y 3: Categorías de tamaño de árboles. ab\_bn:  $ind \cdot ha^{-1}$  en los remanentes de bosque nativo. ab\_pt:  $ind \cdot ha^{-1}$  en las plantaciones. ....70

**Tabla 3.1.** Variables estructurales, uso previo y bosque nativo en el entorno de las plantaciones de *Pinus taeda* en el N de Misiones, Argentina seleccionadas para medir crecimiento de renovales. Edad: Edad del rodal (años). AB: Área basal de la plantación ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ). DP: Densidad de pinos ( $individuos \cdot ha^{-1}$ ). UP: Uso del suelo previo a la plantación. B. nativo: Bosque nativo en el entorno en un radio de 300 metros (%). AD: Abertura del dosel (%). ....84

**Tabla 3.2.** Número de individuos por sitio y especie medida en el año 2015 para determinar el crecimiento de los renovales de árboles nativos con tamaño superior a 1 cm de DAP (clases de tamaño 2 y 3) en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. ....88

<b>Tabla 3.3.</b> Valores de la media del incremento periódico anual absoluto (IPA) para 19 especies de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina, clasificadas por tipo de crecimiento, Lento: IPA $\leq 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$ , Medio: IPA $> 0.3$ y $< 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ , Rapido: IPA $\geq 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ . .....	92
<b>Tabla 3.4.</b> Coeficientes de correlación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de cada especie de renoval de las clases de tamaño 2 y 3 con la componente principal 1 (eje 1) y la componente principal 2 (eje 2) en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. ns: $p > 0.1$ , +: $p < 0.1$ , *: $p < 0.05$ , **: $p < 0.01$ . .....	99
<b>Tabla 3.5.</b> Número de individuos por sitio y especie medida en el año 2015 para determinar el crecimiento de los renovales de árboles nativos con tamaño inferior a 1 cm de DAP (clase de tamaño 1) en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. .....	101
<b>Tabla 3.6.</b> Valores de la media del incremento periódico anual absoluto (IPA) para 26 especies de renovales de la clase de tamaño 1 en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina, clasificadas por tipo de crecimiento, Lento: IPA $\leq 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$ , Medio: IPA $> 0.3$ y $< 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ , Rapido: IPA $\geq 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ . .....	104
<b>Tabla 3.7.</b> Coeficientes de correlación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de cada especie de renoval de la clase de tamaño 1 con la componente principal 1 (eje 1) y la componente principal 2 (eje 2) en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. ns: $p > 0.1$ , +: $p < 0.1$ , *: $p < 0.05$ , **: $p < 0.01$ . .....	110
<b>Tabla 4.1.</b> Variables estructurales, uso previo, proporción de bosque nativo en el entorno de los sitios de muestreo y valores de riqueza y densidad por medición en cada rodal de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Edad (años). AB: área basal ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ ). Dens: Densidad ( $\text{ind}.\text{ha}^{-1}$ ). UP: Uso previo. PBN: Proporción de bosque nativo en el entorno (%). .....	125
<b>Tabla 4.2.</b> Correlaciones de Mantel de la matriz de distancia de abundancia de especies de plántulas con las distancias basadas en variables estructurales, uso previo y bosque nativo en el entorno, en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. R: coeficiente de correlación. P: p-valor. .....	127

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1.</b> Ubicación geográfica de los sitios de muestreo y usos del suelo en el Norte de Misiones, Argentina. ....	34
<b>Figura 2. 2.</b> Imagen representativa del proceso de regeneración natural de pinos en un periodo de 10 años en un “potrero” ubicado en Montecarlo, Misiones, Argentina. Observación personal. Imágenes tomadas de Google Earth Pro.....	36
<b>Figura 2. 3.</b> Representación grafica del diseño de muestreo utilizado para relevar los renovales en cada rodal de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Se esquematizan las 4 subparcelas utilizadas para cada una de las 3 clases de tamaño de renovales de árboles nativos. ....	40
<b>Figura 2.4.</b> Representación grafica de la metodología utilizada para determinar la superficie de bosque nativo en entorno a las plantaciones y la distancia al fragmento de bosque nativo más cercano en el Norte de Misiones, Argentina.....	42
<b>Figura 2. 5.</b> Representación grafica del diseño de muestreo utilizado para relevar los árboles en cada fragmento de bosque nativo en el Norte de Misiones, Argentina. Se esquematizan las 2 subparcelas utilizadas para cada una de las 3 clases de tamaño de árboles nativos .....	43
<b>Figura 2. 6.</b> Curvas de rarefacción para las 3 clases de tamaños de renovales en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Las barras representan los intervalos de confianza. ....	54
<b>Figura 2.7.</b> Valores de riqueza (izquierda) y abundancia (derecha) por clase de tamaño de renovales en función de la edad del rodal en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos rellenos: plantaciones con área basal menor a $29 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , puntos vacíos: plantaciones con área basal mayor o igual a $29 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ .....	55
<b>Figura 2.8.</b> Valores de “t” de los modelos de regresión múltiple para los distintos radios considerados (A) y para las distancias a los fragmentos de bosque nativo más cercanos (B) a las plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. R1, R2 y R3: Riqueza de especies para las clase de tamaño 1, 2 y 3 respectivamente. ....	56

<b>Figura 2.9.</b> Curvas de rarefacción para las 3 clases de tamaños de renovales clasificados por proporción de bosque nativo en el entorno de las plantaciones de <i>P. taeda</i> en el N de Misiones, Argentina. Las barras representan los intervalos de confianza.....	59
<b>Figura 2.10.</b> Ordenamiento de las especies de renovales y rodales para la clase de tamaño 1 mediante el análisis de componentes principales. Los números corresponden a los rodales. Los cuadros indican rodales con menos del 20 % de bosque nativo en el entorno, y los triángulos sitios con un valor superior al 20 %. Círculos rellenos indican rodales con área basal menor a 29 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> y los círculos vacíos indican valores superiores. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 2.2).....	62
<b>Figura 2.11.</b> Ordenamiento de las especies de renovales y rodales para la clase de tamaño 2 mediante el análisis de componentes principales. Los números corresponden a los rodales. Círculos rellenos indican rodales con área basal menor a 29 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> y los círculos vacíos indican valores superiores. Signo + indica rodales con edad menor a 20 años, signo x indica valores superiores. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 2.2).....	64
<b>Figura 2.12.</b> Ordenamiento de las especies de renovales y rodales para la clase de tamaño 3 mediante el análisis de componentes principales. Los números corresponden a los rodales. Círculos rellenos indican rodales con área basal menor a 29 m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> y los círculos vacíos indican valores superiores. Signo + indica rodales con edad menor a 20 años, signo x indica valores superiores. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 2.2).....	65
<b>Figura 2.13.</b> Dendrograma del análisis de clasificación sobre la base de la distancia de composición específica de renovales entre clases de tamaño y categorías de edades de los rodales de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y las tres primeras del epíteto específico (ver Tabla 2.2). .....	68

<b>Figura 2.14.</b> Distribución diamétrica de los árboles en los fragmentos de bosque nativo en el Norte de Misiones, Argentina.....	69
<b>Figura 2.15.</b> Curvas de rarefacción para las 3 clases de tamaños de renovales presentes en los fragmentos de bosque nativo y plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Las barras representan los intervalos de confianza. .	71
<b>Figura 3.1.</b> Representación gráfica de la distribución espacial de renovales identificados para medir crecimiento en el rodal de <i>Pinus taeda</i> Agr30 en el Norte de Misiones, Argentina. Cada árbol representado en el mapa corresponde a un renoval marcado sobre el cual se midió crecimiento.....	86
<b>Figura 3.2.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por especie de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas son máximo y mínimo. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 3.3), las letras L, M y R indican crecimiento Lento, Medio y Rapido, respectivamente. ....	91
<b>Figura 3.3.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por tipo de crecimiento (Lento: $IPA \leq 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$ , Medio: $0.3 < IPA < 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ , Rapido: $IPA \geq 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ ) de los renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el N de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas indican el valor máximo y mínimo. ...	93
<b>Figura 3.4.</b> Variables estructurales de los rodales de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina en los dos primeros ejes del análisis de componentes principales. AB: área basal de la plantación. Edad: edad de la plantación. AD: abertura del dosel. Sit1 a sit10 corresponde a los 10 rodales. ....	94
<b>Figura 3.5.</b> Relación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 con la componente principal 1(A) y componente principal 2 (B) en plantaciones de <i>Pinus taeda</i> en el Norte de Misiones, Argentina.....	95

<b>Figura 3.6.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA superior al IPA del rodal en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal. ....	96
<b>Figura 3.7.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA similar al IPA del rodal en plantaciones de Pinus taeda en el Norte. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal.....	97
<b>Figura 3.8.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA inferior al IPA del rodal en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal. ....	98
<b>Figura 3.9.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de la componente principal 2 clasificadas por tipo de uso previo a la plantación, en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina.....	100
<b>Figura 3.10.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por especie de renovales de la clase de tamaño 1 en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas son máximo y mínimo. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 3.6), las letras L, M y R indican crecimiento Lento, Medio y Rapido, respectivamente. ....	103
<b>Figura 3.11.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por tipo de crecimiento (Lento: $IPA \leq 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$ , Medio: $IPA > 0.3 \text{ y } < 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ , Rapido: $IPA \geq 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ ) de los renovales de la clase de tamaño 1 en plantaciones de Pinus taeda en el N de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La	

línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas indican el valor máximo y mínimo. ....	105
<b>Figura 3.12.</b> Relación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 con la componente principal 1(A) y componente principal 2 (B) en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. ....	106
<b>Figura 3.13.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA superior al IPA del rodal en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal. ....	107
<b>Figura 3.14.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA similar al IPA del rodal en plantaciones de Pinus taeda en el Norte. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal. ....	108
<b>Figura 3.15.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA inferior al IPA del rodal en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal. ....	109
<b>Figura 3.16.</b> Incremento periódico anual absoluto (IPA) de renovales de la clase de tamaño 1 por tipo de uso anterior del suelo en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas son máximo y mínimo. ....	111
<b>Figura 4.1.</b> Representación grafica del diseño de muestreo utilizado en cada rodal para determinar la emergencia de plántulas en plantaciones de Pinus taeda en el Norte de Misiones, Argentina. Se esquematizan las 15 parcelas permanentes del muestreo de germinación y las 4 parcelas temporarias utilizadas para determinar la estructura de la plantación. ....	122

**Figura 4.2.** Dendrograma del análisis de clasificación sobre la base de la distancia de composición específica de plántulas entre rodales y mediciones en el Norte de Misiones, Argentina. Las abreviaciones corresponden al nombre del rodal + “ot” (medición de otoño) o “pr” (medición de primavera) + 14 (medición del año 2014) o 15 (medición del año 2015). ..... 126

**Figura 4.3.** Distribución de abundancia de plántulas de (A): especies abundantes en sitios con media a alta proporción de bosque nativo en el entorno, (B): especies con mayor abundancia en rodales raleados, (C): especies con similar abundancia en las distintas condiciones, en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. La proporción de bosque nativo en el entorno de cada rodal decrece desde la izquierda (Agr10b) hacia la derecha (For6a). ..... 128

**Figura 4.4.** Frecuencia (%) de individuos originados por rebrote y semilla en 24 especies arbóreas en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. .... 129

## AGRADECIMIENTOS

Un gran agradecimiento a mi director Marcelo Arturi, a quien supe admirar durante estos años por su compromiso, conocimientos, capacidad educativa y profesionalismo. Siempre presente y atento, excelente en lo profesional y personal, ¡un gran director!

A mi codirectora Paula Campanello por sus valiosos aportes, sugerencias y recomendaciones durante el desarrollo de esta tesis.

A mi asesor académico Juan Goya por sus aportes, recomendaciones en lo académico y su contribución en el proyecto.

A Martín Pinazo, quien siempre estuvo dispuesto a colaborar y brindar sus valiosos aportes.

A Héctor Keller por resolver mis inconvenientes en reconocimiento de especies y por sus recomendaciones.

A mi gran compañera Belén y mi hijo Santiago, por el acompañamiento y apoyo continuo.

Al Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), UNLP, por brindarme un espacio de trabajo. A todos los integrantes por recibirme de la mejor manera y contribuir en mi formación.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA – EEA Montecarlo y su Campo Anexo Manuel Belgrano (CAMB), por recibirme de la mejor manera y por brindarme un espacio físico y logística en gran parte de los muestreos.

Al Instituto de Biología Subtropical (IBS) CONICET – UNaM sede Puerto Iguazú y sus integrantes, por brindarme un espacio de trabajo en este último período.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por financiar mis ingresos con el otorgamiento de una beca doctoral.

Este trabajo contó con la financiación del Proyecto de Investigación Aplicada 10037 (2011-2014), Ministerio de Agroindustrias de la Nación y de la Universidad Nacional de La Plata.

A los propietarios de las plantaciones: Pindó S.A. representado por el Ing. Hugo Reis, Puerto Laharrague S.A. representado por la Ing. Mónica López, Taeda S. A. representado por el Ing. Jonatan Machel, Mazlumiann Hnos representado por Juan Ibáñez, Rubén Bischoff, Calinowski, Radins, “El Japonés” y a otros propietarios gracias a cuya buena disposición pudieron realizarse los muestreos.

A las personas que colaboraron con el trabajo de campo: Azcona Maximiliano, Barrera Marcelo, Burns Sarah, Eichelberger Renzo, Giménez Diego, González Belén, Knebel Otto, Medina Micaela, Pérez Flores Magalí, Pinazo Martín, Ritter Diego, Ríos Camacho Daniel, Rojas Lucas, Sandoval Martín.

A Martín Sandoval y Leonardo González por brindarme alojamiento en mis viajes a la ciudad de La Plata.

## RESUMEN

La superficie ocupada por plantaciones forestales a nivel mundial se incrementó notablemente durante las últimas tres décadas reemplazando en muchos casos bosques nativos o pastizales. El reemplazo implica cambios en los procesos ecológicos a escala local y del paisaje. En las plantaciones regeneran especies de plantas nativas por lo que la diversidad puede aumentar cuando las plantaciones se establecen en áreas degradadas por el uso agrícola o ganadero, constituyendo en muchos casos un medio idóneo de restauración. Sin embargo, continúa el debate sobre los efectos ambientales de las plantaciones y especialmente sobre la diversidad biológica. La provincia de Misiones, Argentina, conserva el principal remanente del Bosque Atlántico Sur y la actividad forestal representa el sector económico más importante. Teniendo en cuenta el contexto en el cual se enmarca la provincia y que el interés por la conservación de la biodiversidad en ambientes productivos es de carácter internacional, las plantaciones forestales deberían actuar como un medio amigable para las especies nativas de plantas y animales. El objetivo de esta tesis fue determinar cómo influyen las variables estructurales, uso previo y bosque nativo en el paisaje sobre los procesos de regeneración natural de árboles nativos en plantaciones comerciales de *Pinus taeda* L. (Pinaceae).

El trabajo se realizó en el Norte de la provincia de Misiones. Fueron seleccionados 35 rodales de *P. taeda* para determinar el efecto de las variables estructurales, uso previo y bosque nativo en el entorno sobre la composición, riqueza y abundancia de renovales de árboles nativos. Además, fueron medidos 10 fragmentos de bosque nativo para compararlos con la regeneración nativa en las

plantaciones. En ambos ambientes se relevaron renovales de árboles nativos en tres clase de tamaño: Clase 1: Individuos que superaron los 50 cm de altura y tuvieron como límite superior a aquellos que, habiendo superado 1,30 m de altura, presentaron un DAP menor a 1 cm, Clase 2: individuos entre 1 y 5 cm de DAP, Clase 3: individuos con DAP mayor a 5 cm incluyendo especies arbóreas nativas y pinos. A partir del número de individuos de pinos registrados en cada parcela, y la medición de sus DAP, se calculó el área basal de la parcela como la suma de las áreas de cada individuo llevada a  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ , la edad de la plantación fue consultada al propietario o administrador y en algunos casos verificadas mediante interpretación de imágenes satelitales. En 10 rodales se determinó el crecimiento diamétrico de los renovales durante dos años. En otros 5 rodales se determinó la emergencia de plántulas por germinación y en 3 rodales se cuantificó el mecanismo reproductivo (rebrote o semilla) de los renovales. En todos los casos los rodales seleccionados fueron contrastantes en cuanto a variables estructurales, uso previo (agrícola, forestal y bosque nativo) y disponibilidad de bosque nativo en el entorno.

La edad de las plantaciones varió entre 7 y 54 años con densidades desde 242 hasta  $1567 \text{ ind}.\text{ha}^{-1}$  y área basal entre 15 y  $42.8 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ . Se registró un total de 114 especies arbóreas distribuidas en 36 familias botánicas, las especies más abundantes fueron *Lonchocarpus campestris*, *Matayba elaeagnoides*, *Tabernaemontana catharinensis*, *Nectandra lanceolata* y *Trema micrantha*. La edad tuvo un efecto positivo sobre la riqueza y abundancia de renovales de las clases 2 y 3 y el área basal tuvo un efecto negativo. La riqueza de especies se vió afectada por la proporción de bosque nativo únicamente en la clase de tamaño 1 y el uso previo no reflejó tendencias claras en los análisis. La composición de especies se vió

afectada por la edad de la plantación en las 3 clases de tamaño, el área basal tuvo efecto sobre las clases de tamaño 2 y 3, la proporción de bosque nativo sobre la clase 1 y el uso previo sobre las clase 1 y 2. La riqueza de especies tendió a ser menor en las plantaciones comparadas con el bosque nativo principalmente en individuos de la clase de tamaño 3. El crecimiento varió entre rodales según el área basal y la abertura del dosel en las clases de tamaño 2 y 3. Algunas especies presentaron mayor crecimiento en sitios con menor área basal y mayor abertura de dosel, en cambio, otras especies presentaron una tendencia contraria. El uso previo a la plantación no presentó efectos sobre el crecimiento, pero los rodales provenientes de uso agrícola tendieron a presentar menor incremento en diámetro. La emergencia de plántulas no se vió afectada por las variables analizadas en términos de riqueza y abundancia, sin embargo, la disponibilidad de bosque nativo en el entorno influyó sobre la composición de especies. El aporte por rebrote fue menor que lo esperado sin observarse variables que lo afecten, a pesar de este resultado se determinó que este mecanismo determina la mayor abundancia de algunas especies y que más del 50 % de los individuos de 6 especies son originados por este mecanismo, mientras que otras se establecen únicamente por germinación. El estudio permitió definir el comportamiento de los árboles nativos en función de características de los rodales, el efecto de tratamientos silviculturales y de la permanencia de remanentes de bosque nativo en el entorno. Se concluye que los procesos de establecimiento de árboles nativos en las plantaciones representa un proceso relevante en término de conservación de especies del Bosque Atlántico Sur oponiéndose al concepto de “desierto verde” que supone la escasa o nula presencia de especies nativas en los monocultivos forestales. En términos generales, para

favorecer el desarrollo de un sotobosque diverso en especies arbóreas el manejo a nivel del rodal y el paisaje debe tender a mantener un área basal menor a  $30 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , turnos de cortas mínimos de 20 años y mantener un 25 % de la superficie de bosque nativo en el paisaje.

## ABSTRACT

Tree plantations area noticeably increased on a world scale in the last three decades replacing much of native forest and grasslands. The replacement promotes changes in ecological processes at local and landscape scale. Native plants establishment in plantations can increase the biological diversity when plantations grow on lands affected by agriculture. Thus, plantations constitute a suitable tool for ecological rehabilitation in many cases. However, a debate continues on the environmental effects of plantations, and, especially, on how they affect biological diversity. Misiones Province, Argentina, preserves the main remnant of Atlantic Forest at the region. Moreover, tree plantation constitutes a very important economic activity in Misiones Province. There is an international interest in biodiversity conservation in productive landscapes and then, tree plantations should constitute a friendly environment for native plants and animals, acting as corridors instead of barriers. The objective of this thesis was to evaluate the effect of stand structure, land use history and landscape structure on native trees establishment in commercial tree plantations.

This work was carried out in northern Misiones, in 35 stands of *Pinus taeda* L. in which abundance, species richness and species composition of native trees was determined as well as variables regarding pine plantation structure, land use history and native forest availability in the surroundings. In addition, 10 native forest fragments were sampled as a reference frame to which species richness and composition observed in plantations can be compared. In both situations trees smaller than 10 cm DBH (diameter at 1,30 m height) were sampled in three size

classes. Seedlings: taller than 50 cm height and, for those higher than 1.30 m, less than 1 cm DBH, saplings: 1-5 cm DBH and small trees: 5-10 cm DBH. Basal area was calculated on the basis of the number of pine individuals registered in each plot and the measurement of each DBH. Stand basal area was calculated as the sum of the basal area of each individual in the sampling unit expressed in  $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ . Stand age was informed by foresters and confirmed through the analysis of satellite images. Diametric growth was measured in 10 plantations for a 2 years period for all three size classes. The rate of emergence from seeds was estimated in permanent plots in 5 stands for 2 years. In other 3 stands it was determined the frequency of establishment from resprouting or germination for different species by excavation of seedlings. Stands were selected in order to represent contrasting conditions of stand structure, land use history and native forest cover in the surroundings.

Forest age ranged between 7-54 years and density 242-1567 trees. $\text{ha}^{-1}$ . A total of 114 tree species was recorded belonging to 36 botanical families. Plantation age positively affected abundance and species richness for saplings and small trees while basal area negatively affected the same variables. Species richness was positively affected by the native forest cover in the surroundings only for seedlings. Species composition was influenced by plantation age in all three size classes, basal area only for saplings and small trees, native forest cover in the surroundings for seedlings and land use history for seedlings and saplings. Species richness tended to be lower in plantations when compared with native forest, especially when small trees species richness was compared. The diametric growth differed between stands according with basal area and canopy openness. Fast growing species grew faster along a gradient of decreasing area and increasing canopy openness. Slow growing

species exhibited an opposite trend or no trend. No effects on diametric growth was found for land use history, plants only weakly tended to grow slower in stands which were under agriculture in the past than those under forestry or native forest. Density and species richness of plantules emerged from seeds was not affected by stand structure or land use history. Native forest cover in the surroundings influenced the species composition. Seedlings established from resprouting was under 20 % and no trends were observed in the relation with stand age, structure or land use history. In six species resprouting explained 50 % of their establishment while 3 only established from seeds. Native trees establishment in *Pinus taeda* plantations constitutes a relevant process since a high proportion of Atlantic Forest species can be found in similar individuals-species relation. These results are in opposition to the idea of “green desert” which was sometimes used referring tree plantations. *Pinus taeda* plantations can be managed as diverse systems if basal area is conserved under  $30 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , rotation age over 20 years and native forest cover in the surroundings maintaining a minimum threshold of 25-30%.

# **CAPÍTULO 1**

---

## **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

### Marco teórico

Las áreas forestales ocupan el 31 % de la superficie terrestre, de las cuales el 95 % corresponde a bosques naturales y el 5 % a plantaciones forestales (FAO 2010). La superficie ocupada por plantaciones forestales a nivel mundial se incrementó en un 21 % en el período 1990 – 2010 (FAO 2010), reemplazando en muchos casos bosques nativos o pastizales. El reemplazo implica cambios en los procesos ecológicos a escala local y del paisaje (Judd et al. 1996, Turner y Lambert 1996, Loumeto y Bernhard-Reversat 2001, Mills y Fey 2003, Noretto et al. 2005). En las plantaciones regeneran especies de plantas nativas por lo que la diversidad puede aumentar cuando las plantaciones se establecen en áreas degradadas por el uso agrícola o ganadero continuado, constituyendo en muchos casos un medio idóneo de restauración (Lugo 1992, Parrotta 1997, Lindenmayer et al. 2003). Sin embargo, continúa el debate sobre los efectos ambientales de las plantaciones y especialmente sobre la diversidad biológica (Brockerhoff et al. 2003, Bremer y Farley 2010, Hartman et al. 2010). La atención dedicada en los últimos años al estudio de estos procesos se debe parcialmente a la expansión de las plantaciones como fuente de productos madereros y en parte por sus efectos en la fijación biológica de carbono. Las plantaciones pueden disminuir la presión sobre los bosques nativos al proveer productos madereros de manera más eficiente (Lindenmayer et al. 2003) ya que brindan mayor volumen maderable por unidad de superficie, comparados con los bosques naturales (Silva 2014). En este debate, el contexto de comparación representa un rol fundamental, si las plantaciones son comparadas con bosques

nativos o con otros usos de la tierra en los que esos bosques podrían convertirse (Lindenmayer et al. 2003, Brockerhoff et al. 2003, Bremer y Farley 2010). Según la comparación realizada puede encontrarse que las plantaciones forestales de especies exóticas pueden afectar de manera positiva o negativa a la biodiversidad (Hartmann et al. 2010). Los efectos son negativos cuando reemplazan superficies de bosque nativo (Zurita 2008), en cambio, cuando se establecen en ambientes degradados los efectos tienden a ser positivos (Stephens y Wagner 2007, Hartmann et al. 2010). Las plantaciones representan ambientes menos contrastantes con los bosques nativos que los cultivos agrícolas y pueden brindar hábitat adecuados para diferentes especies animales (Lindenmayer et al. 2003, Nájera y Simonetti 2006, Brockerhoff et al. 2003, Simonetti et al. 2013) pudiendo amortiguar efectos de borde y brindar funciones de conectividad entre remanentes de bosques nativos (Stephens y Wagner 2007, Brockerhoff et al. 2003). De esta manera, las plantaciones forestales podrían contribuir con la conservación de la diversidad y las funciones ecológicas a nivel del paisaje si tienden a reemplazar cultivos en tierras deforestadas y bajo cultivos agrícolas, en lugar de bosques nativos. Además, los efectos positivos de las plantaciones podrían ser aumentados si se manejan como bosques mixtos, a densidades y turnos adecuados (Stephens y Wagner 2007, Liang et al. 2016). Existe además una discusión acerca de si los efectos del uso de la tierra sobre la biodiversidad resultan menos intensos al aplicar una clara segregación espacial en áreas dedicadas a la producción y áreas dedicadas a la conservación (*land-sparing*) o bien al aplicar técnicas de producción de bajo impacto pero en toda el área (*land-sharing*) (Fisher et al. 2008, von Wehrden et al. 2014, Kremen 2015). Varios estudios indican que el manejo forestal resulta en menores impactos negativos sobre la

biodiversidad siguiendo un esquema de *land-sparing* que en uno de *land-sharing*. Sin embargo, las comparaciones resultan complejas en términos de la escala apropiada de comparación, así como del análisis de la diversidad local o del paisaje (von Wehrden et al. 2014, Kremen 2015). Puede existir confusión respecto del significado de una u otra estrategia, en particular cuando se trata de la escala espacial a la que ocurre la segregación de áreas de conservación y producción (Perfecto y Vandermeer 2012, Ekroos et al. 2016). La permanencia de fragmentos no utilizados para fines productivos en el marco de predios productivos podría considerarse parte de una estrategia de bajo impacto (*land-sharing*) que favorece la calidad de la matriz productiva. Sin embargo, el mismo proceso puede ser planteado como parte de una estrategia de segregación a múltiples escalas espaciales en el que se conservan funciones de grandes fragmentos de ambientes naturales así como de los pequeños (Ekroos et al. 2016). La combinación de esas escalas de segregación pueden presentar efectos sinérgicos en favor de la biodiversidad (Kremen 2015) gracias al mantenimiento de funciones ecológicas a nivel del paisaje (Perfecto y Vandermeer 2012).

A lo largo del ciclo de la plantación ocurren cambios en la estructura de las plantaciones que pueden favorecer o no el establecimiento y crecimiento de especies vegetales nativas y sus funciones ecológicas. De esta manera, en paisajes dominados por plantaciones, los rodales de diferentes edades conforman un mosaico dinámico constituido por rodales que van modificando sus condiciones desde la implantación hasta que son cosechados en turnos de 18 a 25 años. El mayor desarrollo del sotobosque puede determinar que las plantaciones, en su permanencia hasta el turno, aumenten la oferta de servicios como disponibilidad de

hábitat y recursos constituyendo corredores, en lugar de barreras para el desplazamiento de animales y los consecuentes procesos de dispersión de plantas (Lindenmayer et al. 2003). El mantenimiento de esas funciones de conectividad resulta de suma importancia ya que el efecto del aislamiento sobre la dispersión de propágulos fue identificado como un importante mecanismo de degradación de remanentes de Bosque Atlántico del NE de Brasil (Tabarelli et al. 2004). El manejo a nivel del rodal debería tender a aumentar la regeneración de especies nativas y el manejo a nivel del paisaje debería garantizar la permanencia de remanentes de bosque que actúen como fuentes de semillas (Keenan et al. 1997, Ito et al. 2004).

La provincia de Misiones concentra el 40 % de las plantaciones de coníferas y el 29 % del total de las plantaciones de Argentina (MAPN 2016), además, conserva el principal remanente de lo que se conoce como el complejo de ecorregiones “Bosque Atlántico Sur” (Placci y Di Bitetti 2006) que representa uno de los sistemas boscosos más diversos a nivel mundial (Myers 2000). Por lo tanto, constituye un área prioritaria de conservación a nivel internacional (Di Bitetti et al. 2003) y representa una situación de especial interés para el estudio de los efectos de las plantaciones sobre la diversidad. En Misiones, el área ocupada actualmente por bosques nativos en distintas categorías de conservación es de más de 1 millón de hectáreas (MEyRNR 2016) y 365 mil hectáreas de plantaciones forestales donde las principales especies cultivadas pertenecen al género *Pinus* L. (SIFIP 2010). Este contexto regional justifica la necesidad de realizar esfuerzos para el desarrollo de un manejo forestal tendiente a la conservación de la biodiversidad y las funciones ecosistémicas, así como garantizar la sostenibilidad productiva de los bosques implantados en Misiones.

El establecimiento y desarrollo de especies de plantas nativas en el sotobosque de las plantaciones forestales depende además de la estructura de la plantación determinada por la edad y densidad de los árboles plantados (Brockhoff et al. 2003, Wang et al. 2004, Onaindia y Mitxelena 2009), de la calidad del sitio determinado por el uso anterior del suelo (Gachet et al. 2007), de la disponibilidad de semillas en el entorno determinada por la presencia de bosque nativo (Norton 1998, Ito et al. 2004). Diversos trabajos indican que al aumentar la edad de la plantación aumenta la riqueza y abundancia de especies vegetales en el sotobosque (Loumeto y Huttel 1997, Wang et al. 2004, Selwyn y Ganesan 2009). La densidad de la plantación está condicionada por la aplicación de raleos, donde la intensidad y frecuencia se encuentra definida por el objetivo de producción. Los raleos afectan las condiciones ambientales en el interior de la plantación incidiendo positivamente en el desarrollo de la vegetación establecida (Ares et al. 2010, Trentini et al. 2017). En las plantaciones con destino a la industria celulósica se manejan turnos menores de 15 años y no se aplican raleos o bien, son menos frecuentes e intensos. En cambio, los rodales con destino a la producción de madera aserrada o laminada, se manejan con turnos de 18 años o mayores y se aplican raleos que permiten mantener bajas densidades y obtener mayores diámetros. Este tipo de manejo podría resultar en mejores condiciones para el establecimiento y desarrollo de especies vegetales nativas que los rodales para producción celulósica.

Las diferencias entre las especies del bosque nativo en cuanto a sus mecanismos de dispersión, su tolerancia a la sombra y su tendencia a la reproducción por mecanismos asexuales podrían determinar que las especies encontradas en las plantaciones representen grupos ecológicos particulares (Aubin et al. 2008) o aún

que existan diferentes grupos de especies según la edad de la plantación (Brockerhoff et al. 2003). Debido a que el establecimiento de árboles nativos en las plantaciones representa un proceso altamente dinámico, resulta esperable encontrar diferentes patrones de composición y riqueza al analizar individuos de diferentes tamaños. Las especies con mayor tasa de crecimiento podrían ser más frecuentes en las clases de mayor tamaño y las de baja tasa de crecimiento predominar en las clases menores (Wright et al. 2003, Easdale et al. 2007). La diferencia entre especies en la tolerancia a la escasez de recursos se correlaciona con diferencias en sus tasas de crecimiento y mortalidad y se refleja en sus distribuciones de tamaños (Kohyama et al. 2015). Además, los individuos de diferentes tamaños de una misma especie pueden diferir en sus respuestas frente a la disponibilidad de recursos y experimentan diferentes condiciones debido a los gradientes verticales de luz (Wright et al. 2003, Easdale et al. 2007).

### **Objetivos generales**

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo avanzar en la respuesta a preguntas específicas derivadas de los antecedentes disponibles para el área de estudio (Holz 2007, Dummel y Pinazo 2013) tales como ¿Cuáles son los cambios en diversidad, composición y abundancia de árboles nativos en las plantaciones en relación con los cambios estructurales que ocurren a lo largo del turno?, ¿En qué medida el manejo de la densidad y el turno permiten aumentar la abundancia y riqueza de plantas nativa en el sotobosque con la consecuente provisión de servicios ecológicos? ¿Cómo difieren las tendencias según el tamaño individual en las especies arbóreas nativas establecidas? ¿Cuánto incide la permanencia de

remanentes de bosque nativo en el entorno y cuál es la mejor manera de cuantificarlo? ¿Cómo se relacionan las diferencias de crecimiento entre especies con diferentes tendencias según las características del rodal, su distribución de tamaño y los mecanismos de establecimiento?

En el contexto de esta tesis se denominó renovales a los individuos de especies arbóreas que presentaron más de 50 cm de altura y un tamaño máximo de 10 cm de diámetro a 1,30 m de altura (DAP). Estos renovales fueron clasificados en tres clases de tamaño que se especifican en los respectivos capítulos. Asimismo, al analizar la emergencia de individuos por germinación se denominó plántulas a aquellos que presentaron más de 10 cm y menos de 50 cm de altura y que presentaban cotiledones o marcas de su inserción sobre el tallo. El término regeneración fue restringido al proceso de establecimiento de nuevos individuos.

### **Estructura de la tesis**

En el Capítulo 2 se describen patrones de variación de la composición, riqueza y abundancia de renovales de árboles nativos en función de variables a nivel del rodal, del paisaje y uso previo. En el Capítulo 3 se presentan estimaciones de crecimiento diamétrico, y se analiza su relación con características a nivel del rodal, con el uso previo así como diferencias entre especies respecto de esas relaciones. Se evalúa la relación entre el crecimiento y la distribución de abundancia de los renovales por clases de tamaño descritas en el capítulo 2. En el capítulo 4 se presentan estimaciones de las tasas de emergencia de plántulas por germinación y se evalúa la incidencia de variables a nivel del rodal, del paisaje y el uso previo. Además, se presentan cuantificaciones de las frecuencias de establecimiento por germinación o

rebrote entre las especies más frecuentes en las plantaciones. Se evalúa la relación entre las diferencias entre especies respecto de los mecanismos de establecimiento y la distribución de abundancia por clases de tamaño. En el capítulo 5 se realiza una discusión integral de los resultados de los capítulos precedentes en función de establecer los efectos de las variables a nivel del rodal y del paisaje sobre los patrones de densidad y riqueza del sotobosque de las plantaciones y las posibles consecuencias prácticas de esas relaciones.

## **CAPÍTULO 2**

---

**EFFECTOS DE LAS VARIABLES DEL RODAL, USO PREVIO  
Y PAISAJE SOBRE LA COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y  
RIQUEZA DE ÁRBOLES NATIVOS EN PLANTACIONES DE  
*Pinus taeda* L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA**

# **EFECTOS DE LAS VARIABLES DEL RODAL, USO PREVIO Y PAISAJE SOBRE LA COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y RIQUEZA DE ÁRBOLES NATIVOS EN PLANTACIONES DE *Pinus taeda* L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA**

## **INTRODUCCIÓN**

Las variables estructurales de las plantaciones pueden incidir en el establecimiento de las plantas nativas. Esos procesos fueron estudiados tanto en los bosques de Misiones (Pinazo et al. 2008, Dummel y Pinazo 2013, Trentini et al. 2017) como en los de otras regiones del mundo (Senbeta et al. 2002, Aubin et al. 2008, Otto et al. 2012, Kenji Seiwa et al. 2012) indicando que las plantaciones de menor densidad de ocupación del rodal podrían presentar mayor riqueza, abundancia y diferencias en composición de plantas nativas en el sotobosque. Estas observaciones resaltan la incidencia de los aspectos silvícolas como la densidad ( $\text{ind.ha}^{-1}$ ) de árboles plantados y la aplicación de raleos (intensidad, frecuencia y edad de aplicación). La composición de especies en los monocultivos forestales se encuentra determinada principalmente por la edad de la plantación y la densidad de ocupación del rodal (Brockhoff et al. 2003, Lee et al. 2005), en las primeras etapas serán abundantes las especies pioneras y con el transcurso del tiempo se establecerán especies con mayor tolerancia a la sombra (Senbeta et al. 2002). La edad de la plantación brinda el tiempo necesario para que los árboles puedan establecerse y desarrollarse en el sotobosque. Las plantaciones forestales adultas presentan mayor riqueza de especies nativas en el sotobosque (Wang et al. 2004, Onaindia y Mitxelena 2009, Dummel y Pinazo 2013) e inclusive tienden a ser mas

similares a la vegetación nativa circundante (Norton 1998) comparadas con plantaciones de menor edad. La densidad de ocupación del rodal es un factor clave, plantaciones de edades similares pero menos densas presentan mayor riqueza de especies nativas que plantaciones con densidad alta (Loumeto y Huttel 1997, Kenji Seiwa et al. 2012). En general, los tratamientos silvícolas asociados con la ordenación forestal intensiva causan un aumento temporal de la diversidad de especies y cambios en la composición y abundancia relativa de especies de árboles que regeneran en el sotobosque (Hartman et al. 2010).

El uso del suelo previo a la plantación puede determinar un bajo aporte del banco de semillas y del rebrote de plantas nativas en plantaciones (Gachet et al. 2007) por lo que la regeneración se vuelve altamente dependiente de los procesos de dispersión (Senbeta y Demel 2001). La distancia a la cual pueden ser dispersadas las semillas depende del mecanismo de dispersión que a su vez se encuentra relacionado con las características de las semillas (Hewitt y Kellman 2002), las dispersadas por pájaros son las más eficientes seguidas por las semillas livianas dispersadas por el viento. Keenan et al. (1997) encontraron que entre el 80 y 90 % de las especies de árboles que regeneraban en el sotobosque de las plantaciones eran dispersadas por aves. Considerando cualquier mecanismo de dispersión resulta muy pequeña la proporción de semillas que puede ser dispersada a distancias mayores a 300 metros (Hewitt y Kellman 2002), especialmente, en ambientes boscosos fragmentados (Cramer et al. 2007). Sitios en los que el uso del suelo previo a la plantación fue de mayor intensidad (e.g. agricultura intensiva) suelen ser menos diversos por lo cual resulta indispensable la presencia de fuentes de semillas en el entorno (Ito et al. 2004). La colonización de especies nativas en el

sotobosque de las plantaciones será menos probable si los remanentes de bosque nativos se encuentran aislados de las plantaciones (Onaindia y Mitxelena 2009), por lo cual el manejo a nivel de paisaje debe mantener o crear una configuración adecuada que garantice la llegada de semillas al sotobosque de las plantaciones. Senbeta y Demel (2001) determinaron que la mayor proporción de especies que regeneran en el sotobosque de las plantaciones provienen del bosque nativo en el entorno y en menor medida del propio banco de semillas del suelo. En la medida que un mayor número de especies presentes en el entorno puedan ser dispersadas hasta las plantaciones y establecerse, será mayor la riqueza, como una componente de la diversidad (Gotelli y Colwell 2001, Magurran 2004).

De esta manera, el manejo a nivel del rodal debería tender a aumentar la regeneración de especies nativas y el manejo a nivel del paisaje debería garantizar la permanencia de remanentes de bosque nativo que actúen como fuentes de semillas (Koh et al. 2015). El objetivo general de este capítulo fue conocer la composición, riqueza y abundancia de especies arbóreas nativas que regeneran naturalmente en monocultivos de *Pinus taeda* L. en el Norte de Misiones y sus relaciones con las variables estructurales, uso anterior del suelo, disponibilidad y características de los remanentes de bosque nativo en el entorno.

## **HIPÓTESIS**

1. La estructura de la plantación determina condiciones ambientales que inciden sobre la composición, riqueza y abundancia de árboles nativos por lo que existen diferencias entre estas variables en plantaciones con diferencias estructurales.

2. Las oportunidades de arribo de semillas aumentan con la edad y la proporción de bosque nativo en el entorno de la plantación; en consecuencia, la riqueza y abundancia de árboles nativos que regeneran son directamente proporcionales al aumento en aquellas variables con un consecuente cambio en composición.

3. El uso del suelo llevado a cabo previamente al establecimiento de las plantaciones afecta la permanencia de semillas por lo que la composición, riqueza y abundancia de árboles nativos que regeneran en las plantaciones es diferente según el tipo de cobertura: suelos ocupados previamente por bosque nativo (mayor abundancia y riqueza), suelos ocupados por plantaciones o cultivos agrícolas (menor abundancia y riqueza).

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Determinar y evaluar la composición, riqueza y abundancia de renovales de árboles nativos en plantaciones comerciales de *Pinus taeda*.

2. Analizar las relaciones entre la abundancia, riqueza y composición específica de los renovales de árboles nativos y las características a nivel del rodal: edad, densidad ( $\text{ind.ha}^{-1}$ ) y área basal de la plantación.

3. Evaluar la incidencia del área de bosque nativo en el entorno y del uso del suelo previo a la plantación sobre las relaciones indicadas en el objetivo precedente.

4. Comparar la diversidad de árboles nativos que regeneran en las plantaciones de pino con la presente en los remanentes de bosque nativo en el entorno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se desarrolló en los departamentos de Montecarlo, Iguazú y General Manuel Belgrano, provincia de Misiones, Argentina (Figura 2.1). La vegetación de la Provincia de Misiones corresponde a la Ecorregión Selva Paranaense que está incluida en el complejo de ecorregiones Bosque Atlántico (Placci y Di Bitetti 2006). Fitogeográficamente representa el distrito de las Selvas Mixtas (Cabrera 1976), donde la temperatura media anual es de 20 °C y la precipitación media anual es de unos 2000 mm, distribuidos uniformemente durante todo el año (Ligier et al. 1990). La Selva Paranaense se ubica en la parte sur del Macizo de Brasilia (Ligier 2000) con una topografía que varía desde zonas relativamente planas con suelos profundos, en las cercanías del Paraná y hasta zonas de fuertes pendientes en la serranía central de la Provincia de Misiones. Las altitudes varían aproximadamente entre 200 y 850 msnm. Fisonómicamente representa una selva con varios estratos de árboles y abundantes lianas y epífitas (Cabrera 1976). Los predios pertenecen a productores agropecuarios y medianas empresas forestales que cultivan *P. taeda* sobre suelos rojos, Ultisol, Kandiodult (Soil Survey Staff 1992), en todos los casos con pendiente inferior al 10 %, siendo las plantaciones establecidas sobre tierras provenientes tanto de ciclos previos de plantación de *Pinus spp.* como de cultivos agrícolas o desmonte del bosque nativo.

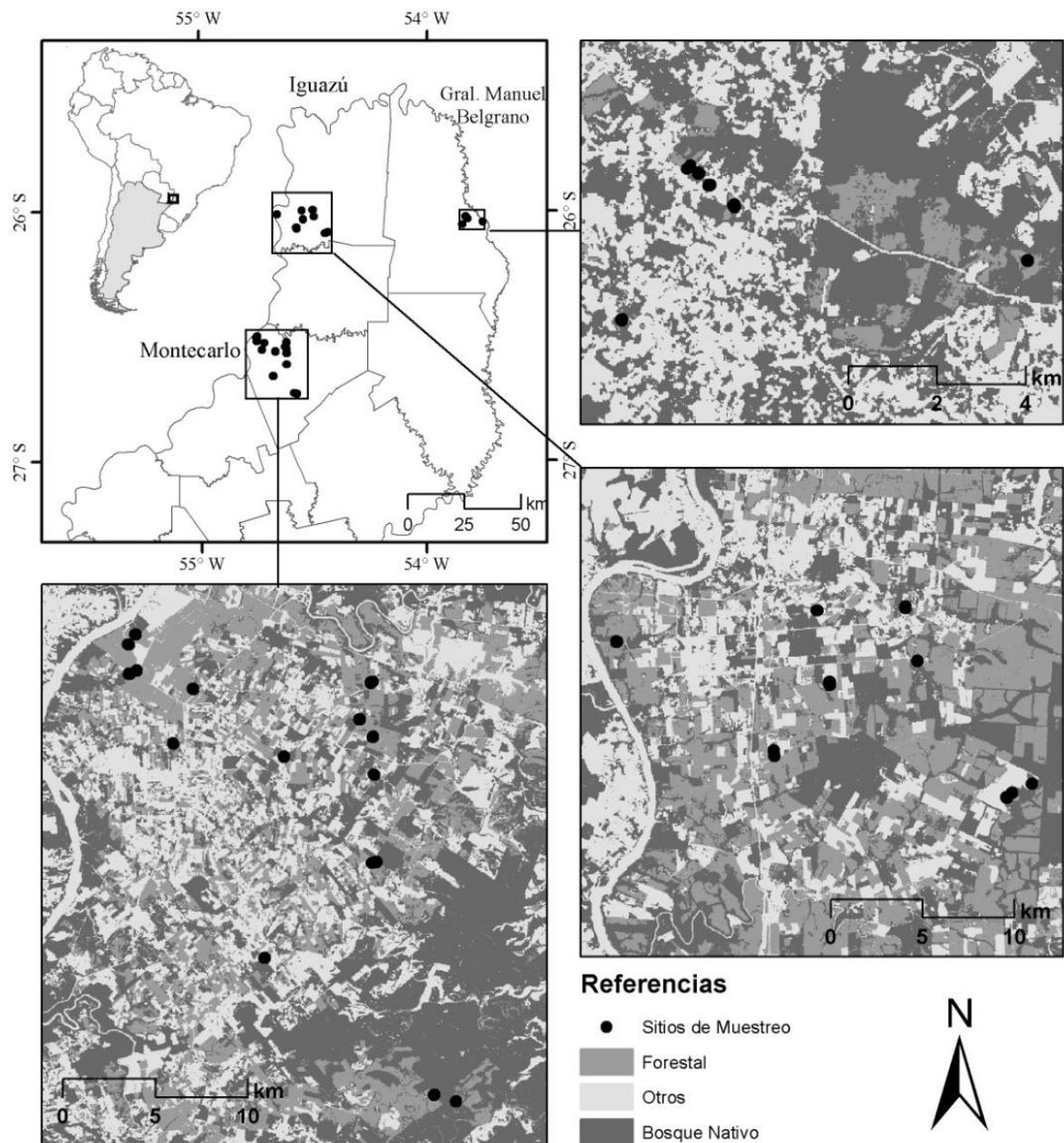


Figura 2. 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo y usos del suelo en el Norte de Misiones, Argentina.

### Caracterización de las plantaciones de *Pinus taeda* y remanentes de bosque nativo en Misiones

*Pinus taeda* posee la capacidad de desarrollarse en todos los ambientes edáficos de la provincia, excepto en los humedales. Estos suelos corresponden a los órdenes

Alfisoles, Ultisoles, Entisoles e Inceptisoles (Soil Survey Staff 1992). Las actividades silviculturales varían de acuerdo al sitio, al objetivo de producción y al tipo de productor. Los pequeños productores utilizan generalmente el trabajo manual; en cambio, las medianas y grandes empresas tienden a mecanizar todas las actividades. Las plantaciones se establecen generalmente a una densidad desde 1200 hasta 1600 ind.ha<sup>-1</sup>, con control de malezas químico o químico-mecánico hasta el tercer año desde la plantación. Si el objetivo de producción es la industria celulósica no se aplican raleos o son poco frecuentes; en cambio, si el destino es la industria del aserrado o laminado se realizan entre dos y cuatro aplicaciones de raleos durante el ciclo. El turno de corta para una plantación sin raleos es desde 12 hasta 14 años con una densidad final de 800 ind.ha<sup>-1</sup>, para una plantación raleada el ciclo dura entre 18 y 25 años dependiendo de la calidad del sitio y el objetivo específico de producción, llegando al ciclo de corta con una densidad de entre 150 y 350 ind.ha<sup>-1</sup>.

Los rodales de pino varían en extensión dependiendo de las características de los productores. En campos de pequeños o medianos productores agropecuarios, que se dedican marginalmente a la actividad forestal, el tamaño de los rodales varía entre 0.5 y 20 ha, mientras que los rodales manejados por empresas forestales varían entre 20 y 150 ha. La permanencia de bosque nativo en el entorno de los rodales también depende de las características de los productores ya que en las empresas forestales tienden a estar rodeados por otros rodales plantados con *P. taeda*, mientras que en otro tipo de productores predomina la cobertura por parte de cultivos agrícolas o remanentes de bosque nativo. Estos remanentes de bosque nativo, que podrían actuar como fuente de propágulos para la regeneración de

árboles en las plantaciones, se presentan en parches de diferente tamaño y en diferentes estados de degradación.

En la región de estudio los pinos no regeneran naturalmente en el sotobosque de la plantación; sin embargo, es frecuente observar que regeneren espontáneamente en pastizales artificiales o “potreros” (Figura 2.2) y bordes de caminos.

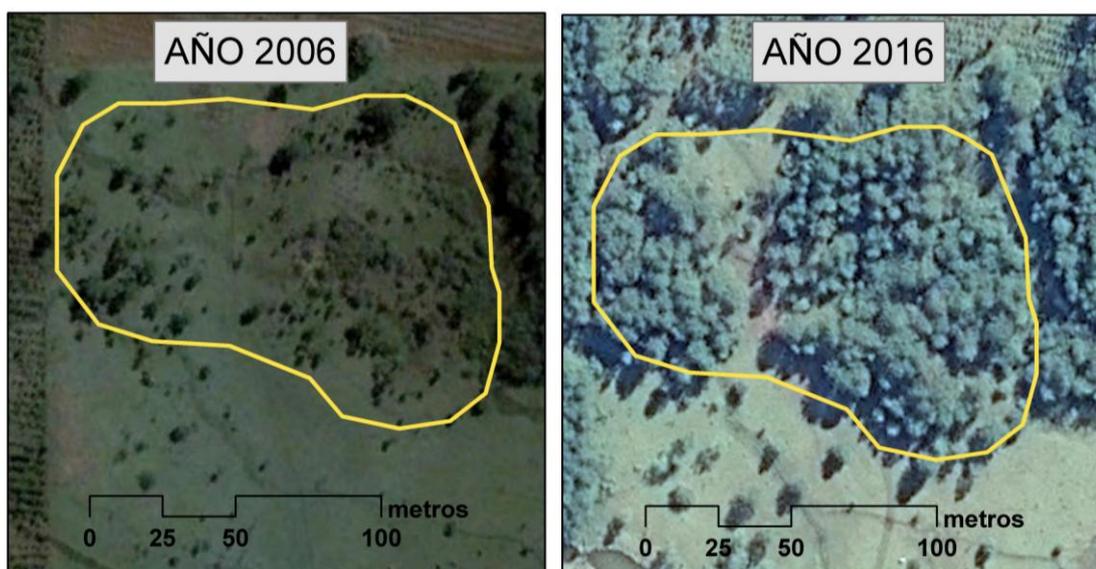


Figura 2. 2. Imagen representativa del proceso de regeneración natural de pinos en un periodo de 10 años en un “potrero” ubicado en Montecarlo, Misiones, Argentina. Observación personal. Imágenes tomadas de Google Earth Pro.

### Diseño de muestreo

Fueron seleccionados 35 rodales de *P. taeda* de diferente edad, densidad, uso del suelo previo a la plantación y disponibilidad de bosque nativo en el entorno (Tabla 2.1). Se midió diámetro y altura de los individuos de árboles nativos que superaron 1.3 metros de altura y únicamente altura de los individuos que no superaron este valor y medían por los menos 0.5 m de altura. Las mediciones se realizaron en parcelas circulares dentro de cada rodal. Cada parcela fue referenciada

geográficamente mediante un posicionador global (GPS). Las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo fueron proyectadas a coordenadas planas para utilizarlos en modelos de variación espacial.

Tabla 2. 1. Variables estructurales, uso anterior del suelo y bosque nativo en el entorno de los 35 rodales de *Pinus taeda* muestreados en el Norte de Misiones, Argentina. EDAD: Edad del rodal (años). DCM: Diámetro cuadrático medio (cm). AB: Área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ). DP: Densidad de pinos ( $ind \cdot ha^{-1}$ ). USOP: Uso del suelo previo al establecimiento de la plantación. BN: Bosque nativo en el entorno en un radio de 300 m (%). AD: Abertura del dosel (%). IAF: Índice de área foliar. RTT: Radiación total transmitida (%).

RODAL	EDAD	DCMP	AB	DP	USOP	BN	AD	IAF	RTT
Agr11a	11	33.3	21.0	242	Agrícola	7	32.6	1.0	48.5
For22	22	36.6	29.0	275	Forestal	0	18.4	1.7	25.0
For20	20	39.4	34.6	283	Forestal	6	33.7	1.2	48.7
Nat27	27	35.0	31.3	325	B. nativo	4	26.9	1.4	39.7
For14a	14	32.3	28.0	342	Forestal	15	36.7	1.0	51.1
Agr12a	12	27.5	20.8	350	Agrícola	3	15.0	2.1	24.3
Agr13	13	31.1	27.2	358	Agrícola	7	30.4	1.2	44.1
For14b	14	29.4	25.9	383	Forestal	6	20.0	1.8	31.2
Agr12b	12	31.6	32.1	408	Agrícola	23	14.9	2.0	24.8
For11	11	27.5	24.7	417	Forestal	13	17.3	1.9	27.5
Agr36	36	31.5	33.1	425	Agrícola	0	12.1	2.2	17.2
Nat19	19	27.7	28.2	467	B. nativo	19	25.3	1.4	39.8
For6a	6	23.5	22.4	517	Forestal	0	23.6	1.4	33.5
For10	10	23.2	22.5	533	Forestal	5	15.6	2.0	28.6
For8a	8	22.8	22.1	542	Forestal	3	12.6	2.1	17.5
Agr30	30	25.8	28.7	550	Agrícola	24	18.4	1.7	25.0
Agr17	17	18.4	15.0	567	Agrícola	22	20.6	1.6	32.6
Nat35a	35	26.1	30.9	575	B. nativo	24	19.3	1.7	25.4
Nat40	40	24.3	27.2	583	B. nativo	9	12.5	2.4	16.7
Nat12	12	27.9	36.2	592	B. nativo	71	24.5	1.5	37.3
For7	7	20.3	19.7	608	Forestal	44	19.6	1.6	24.9
Agr27	27	27.5	36.5	617	Agrícola	48	21.1	1.6	32.7
Nat7a	7	21.5	22.6	625	B. nativo	8	14.2	2.1	18.9
For8b	8	22.3	25.0	642	Forestal	35	13.9	2.1	19.4
Agr11b	11	25.6	33.9	658	Agrícola	43	30.0	1.2	43.8
For17	17	22.9	29.1	708	Forestal	30	18.7	1.8	30.1
Agr7	7	22.0	28.9	758	Agrícola	57	20.0	1.8	31.2
Nat35b	35	18.5	23.0	858	B. nativo	11	25.3	1.3	38.3

Tabla 2.1. Continuación.

RODAL	EDAD	DCMP	AB	DP	USOP	BN	AD	IAF	RTT
Nat54	54	24.7	42.8	892	B. nativo	28	17.4	1.8	28.5
Agr10a	10	21.7	33.7	908	Agrícola	21	16.1	2.0	24.5
Nat7b	7	18.8	28.9	1042	B. nativo	38	32.1	1.1	50.3
Agr12	12	21.8	39.5	1058	Agrícola	44	28.5	1.3	45.0
Agr10b	10	19.5	34.2	1150	Agrícola	42	13.3	2.3	23.4
For6b	6	16.4	29.2	1383	Forestal	9	14.7	2.0	22.2
Nat6	6	17.3	36.8	1567	B. nativo	31	9.5	3.0	15.5

### Muestreo de la regeneración de árboles nativos en las plantaciones de pino

Para caracterizar el proceso de regeneración se determinó la abundancia de renovales de especies arbóreas en las plantaciones, definidos como individuos menores de 10 cm de diámetro a 1,30 m de altura (DAP) de especies que a la madurez superan dicho diámetro. Debido a que los renovales varían en abundancia, así como en sus tasas de sobrevivencia según su tamaño, fueron clasificados en tres categorías y relevados en parcelas de tamaños diferentes: (a) Clase 1: Individuos que superaron los 50 cm de altura y tuvieron como límite superior a aquellos que, habiendo superado 1,30 m de altura, presentaron un DAP igual a 1 cm. Se determinó la especie y altura en cuatro subparcelas circulares de 25 m<sup>2</sup> cada una con un distanciamiento mínimo de 20 m entre ellas. Las cuatro subparcelas conformaron la unidad de muestreo en cada rodal. (b) Clase 2: Individuos de entre 1 y 5 cm de DAP. Se determinó la especie, DAP y altura de cada individuo en cuatro subparcelas de 100 m<sup>2</sup> concéntricas con las de 25 m<sup>2</sup>. (c) Clase 3: Individuos de *P. taeda* y árboles nativos mayores a 5 cm de DAP. Se registró el DAP y altura en cuatro subparcelas de 300 m<sup>2</sup> concéntricas con las de 25 y 100 m<sup>2</sup> (Figura 2.3). En cada rodal se estimó el área basal (AB) de *P. taeda* (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), la densidad de *P.*

*taeda* (ind.ha<sup>-1</sup>), y el diámetro cuadrático medio (DCMP) de los pinos (cm). A partir del número de individuos de *P. taeda* registrados en cada parcela, y la medición de sus DAP, se calculó el área basal de la parcela como la suma de las áreas de cada individuo llevada a m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. La edad de cada rodal se estableció por consulta con los propietarios y en algunos casos, corroboración mediante imágenes satelitales. Con la información de estas parcelas se determinó la abundancia por especie (ind.ha<sup>-1</sup>) y la riqueza en cada clase de tamaño de renovales. Se adoptó el marco conceptual dado por Magurran (1988), Gotelli y Colwell (2001) y Magurran (2004), según el cual la diversidad biológica refiere a la variedad biológica a diferentes niveles de organización, desde las especies hasta los ecosistemas, y utilizando diferentes criterios de clasificación como taxonómico y funcional. En ese esquema la riqueza de especies representa la medida más simple de la diversidad específica (Magurran 1988, Gotelli y Colwell 2001). En este trabajo se estimó la riqueza de especies como un índice simple de la diversidad y se utilizaron curvas de rarefacción, que representan la riqueza en función del área o número de individuos observados, como un método adecuado de estimación y comparable entre diferentes situaciones estudiadas (Gotelli y Colwell 2001). Tanto los nombres científicos aceptados como sus respectivos hábitos fueron consultados en la página web del instituto darwinion (IBODA 2016). Las especies de árboles no nativos pero naturalizados o con tendencia a presentar dicho *status* en la región de estudio (*H. dulcis*, *E. japonica*, *P. guajava*, *C. aurantium* y *M. azedarach*) fueron incluidos en los análisis porque, a pesar de no ser propias del lugar se aclimatan y resisten la competencia con las demás especies (Font Quer 1982), la naturalización de estas especies se definió por observación personal en bosques nativos de la región. En la definición de la

categoría sucesional de las especies se siguió a Ferretti et al. (1995). Según dichos autores la tolerancia a la sombra aumenta según la secuencia: pioneras, secundarias iniciales, secundarias tardías y clímax y en la mismas secuencia disminuye la tasa de crecimiento y aumenta la longevidad que es de 10 años, 10-25 años, 25 - 100 años y mayor a 100 años, respectivamente.

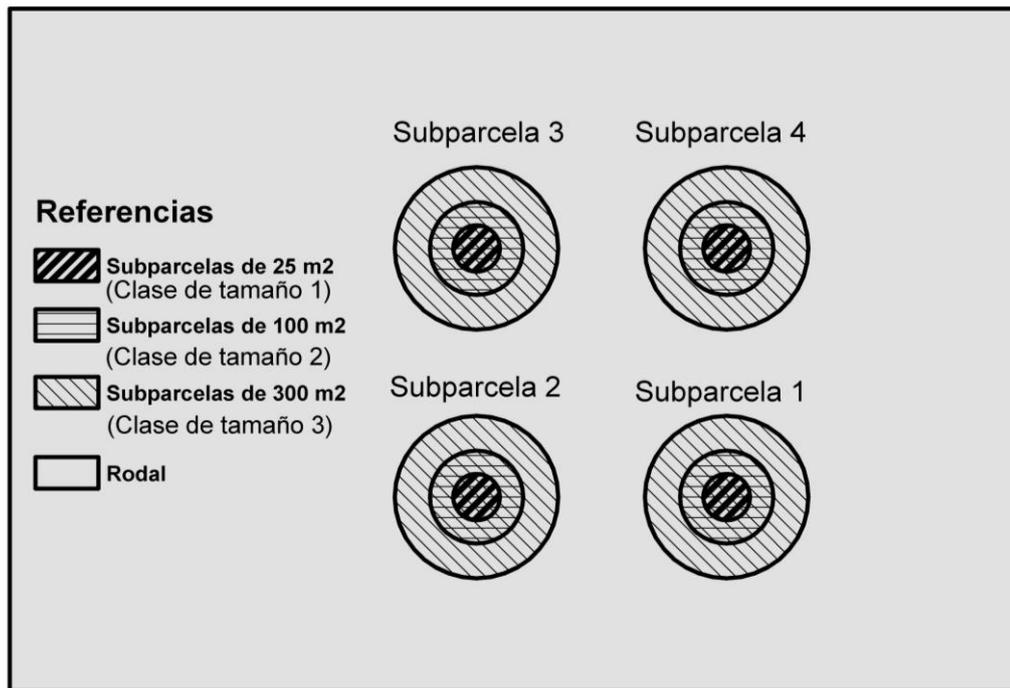


Figura 2. 3. Representación gráfica del diseño de muestreo utilizado para relevar los renovales en cada rodal de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Se esquematizan las 4 subparcelas utilizadas para cada una de las 3 clases de tamaño de renovales de árboles nativos.

### Radiación y cobertura del dosel

En los cuatro puntos centrales de las parcelas se tomó una foto hemisférica a 1.3 m de altura con una cámara digital Nikon 35 mm con una lente “ojo de pez” Sigma 8 mm. Las fotos se analizaron con el programa Gap Light Analyzer 2.0 (Frazer et al. 1999). Se calculó un promedio por rodal de: a) el porcentaje de la radiación total

transmitida por la canopia (% RTT), b) el porcentaje de abertura de dosel (% AD), y c) el índice de área foliar (IAF).

### **Superficie de bosque nativo en el entorno**

A nivel de paisaje se estudió la relación entre la abundancia y riqueza de renovales con el bosque nativo circundante mediante imágenes satelitales LANDSAT con resolución de 30 metros (USGS 2013), correspondiente al mismo año en el que se realizó el muestreo. La imagen fue clasificada utilizando un procedimiento supervisado (Richard y Jia 1999) y luego convertida desde formato ráster a formato vectorial para calcular la proporción de bosque nativo en áreas circulares de 150, 300, 600, 1200, y 2400 metros de radio, concéntricas con el punto central de muestreo en cada rodal. Además se calculó la distancia desde el punto central de muestreo al parche de bosque nativo más cercano (DBN). Ese procedimiento se llevó a cabo considerando diferentes tamaños mínimos de los parches vecinos: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 300 ha (Lion et al. 2014) (Figura 2.4). Se adoptó la denominación de “bosque nativo” en correspondencia con el uso del término en marcos regulatorios nacionales como la ley 26.331, el Inventario Nacional de Bosques Nativos y legislaciones de diferentes provincias incluida la de Misiones. En todas ellas se considera como bosque nativo a aquellos bosques no implantados en los que existe un predominio de especies nativas.

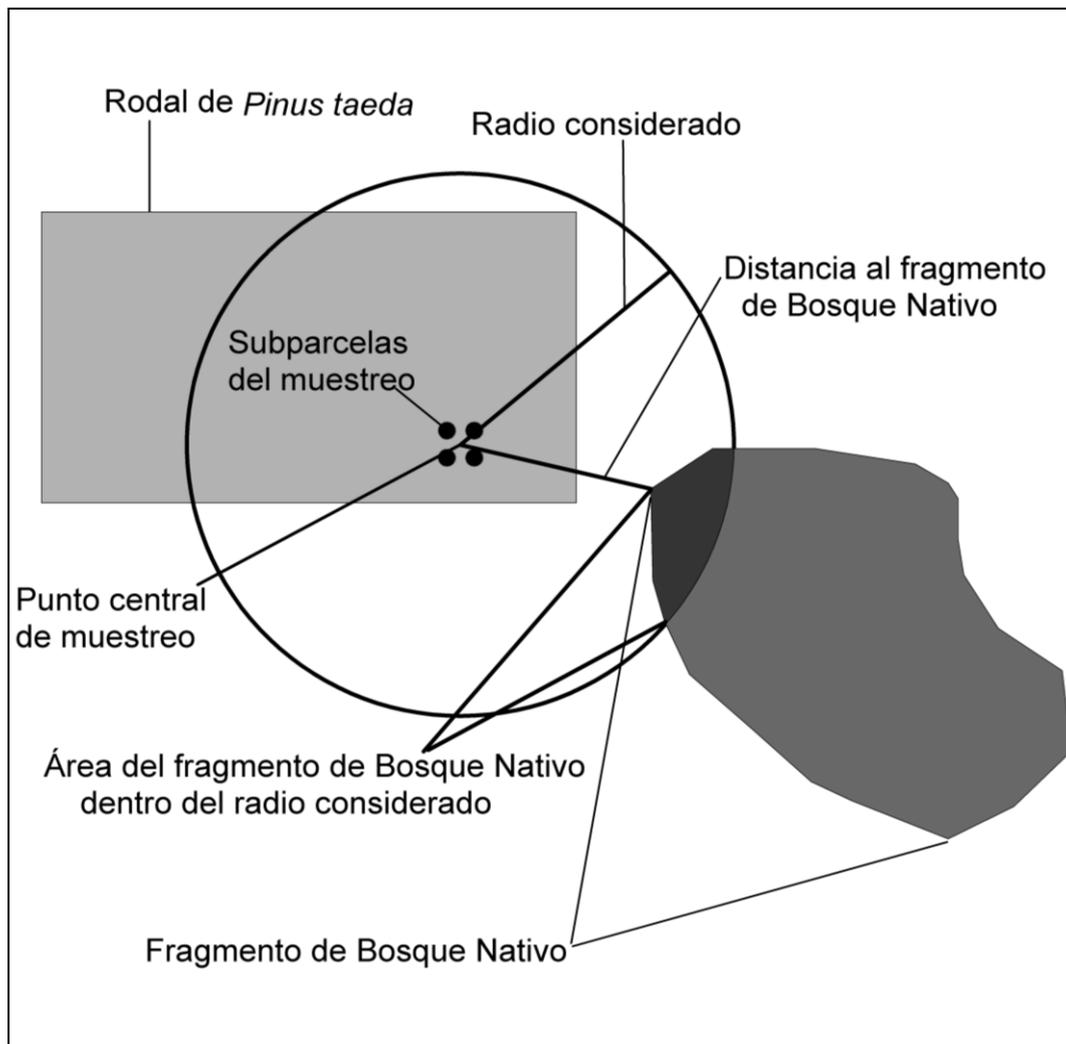


Figura 2.4. Representación gráfica de la metodología utilizada para determinar la superficie de bosque nativo en entornos de las plantaciones y la distancia al fragmento de bosque nativo más cercano en el Norte de Misiones, Argentina.

### Muestreo de fragmentos de bosque nativo

En los fragmentos de bosque nativo ubicados en el entorno de los rodales de pino se realizó una caracterización estructural siguiendo métodos ya utilizados en el área de estudio (Goya et al. 2010). Debido a que los árboles varían en abundancia, así como en sus tasas de sobrevivencia según su tamaño, fueron clasificados en tres categorías y relevados en parcelas de tamaños diferentes: (a) Clase 3: se establecieron dos parcelas de 10 x 25 m (250 m<sup>2</sup>) distanciadas por 25 metros entre

sí, subdivididas para poder captar mayor variabilidad espacial. En dichas parcelas se registró la especie y se midió el DAP de cada individuo con tamaño superior a 5 cm de DAP. (b) Clase 2: dentro de cada subparcela de 250 m<sup>2</sup> se estableció una subparcela de 10 x 10 m (100 m<sup>2</sup>) y se registró el número de individuos por especies con tamaños entre 1 y 5 cm de DAP. (c) Clase 1: dentro de cada subparcela de 100 m<sup>2</sup> se estableció una subparcela de 5 x 5 m (25 m<sup>2</sup>) y se registró el número de individuos por especies que superaron los 50 cm de altura y tuvieron como límite superior a aquellos que, habiendo superado 1,30 m de altura, presentaron un DAP igual a 1 cm (Figura 2.5). Con estos datos se calculó la abundancia, área basal y distribución diamétrica por especie para los individuos adultos y la abundancia por especie para los renovales.

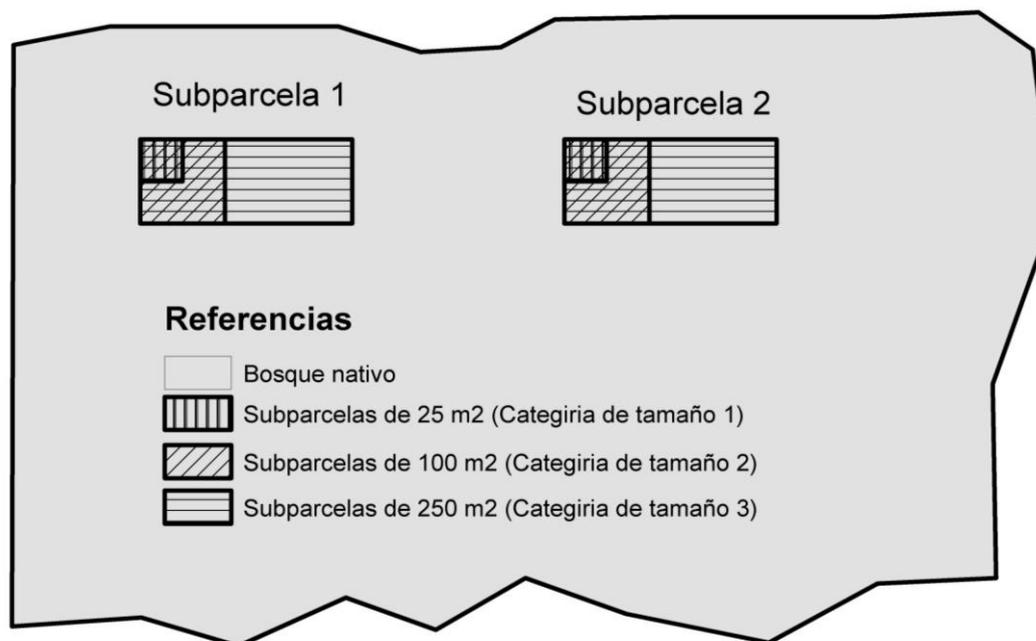


Figura 2. 5. Representación gráfica del diseño de muestreo utilizado para relevar los árboles en cada fragmento de bosque nativo en el Norte de Misiones, Argentina. Se esquematizan las 2 subparcelas utilizadas para cada una de las 3 clases de tamaño de árboles nativos

## **Uso anterior del suelo**

Se evaluó además el efecto del tipo de cobertura/uso del suelo previo a la plantación, clasificando a los rodales dentro de tres categorías: agrícola, forestal y bosque nativo. Los datos fueron informados por los dueños o administradores de las propiedades y corroborados mediante imágenes satelitales LANDSAT realizando interpretación visual.

## **Análisis de datos: Riqueza y abundancia**

La relación entre la abundancia y riqueza de los renovales de árboles nativos con las variables del rodal y del paisaje se estableció mediante modelos lineales de regresión múltiple. Debido al elevado número de variables consideradas para evaluar el efecto de la estructura del rodal, del paisaje y del uso previo no se recurrió a procedimientos automáticos de selección de modelos de mayor ajuste debido a la alta tasa de error tipo I que su aplicación supone (Mundry y Nunn 2009). Según Mundry y Nunn (2009) en lugar de utilizar esos procedimientos resulta recomendable realizar una selección basada en procedimientos descriptivos y guiados por los supuestos teóricos, involucrados en el problema estudiado, y que desean ponerse a prueba. Siguiendo ese enfoque se llevó a cabo en primer lugar el ajuste de variables descriptoras de las condiciones a nivel del rodal (AB, edad, DCMP, % RTT, % AD, IAF). A partir de los resultados obtenidos se retuvieron las variables que mostraron ser significativas o bien aquellas cuyo efecto resultaba prioritario poner a prueba. Cuando fueron observadas variables colineales, cuya significancia se anulaba al incorporarse juntas al modelo, se retuvieron las que presentaban mayor valor de "t". Una vez seleccionadas las variables a nivel del rodal se evaluó el efecto de la

estructura del paisaje mediante dos enfoques alternativos: la superficie de bosque nativo en el entorno (BNHA) utilizando diferentes radios (Koh et al. 2015) y la distancia al fragmento de bosque nativo más cercano (DBN) cuya área superase un valor mínimo considerando diferentes valores para ese límite. Esas variables fueron incorporadas al modelo ya establecido para los efectos a nivel del rodal. El valor del estadístico "t" refleja la contribución de la variable (BNHA o DBN) en los modelos que toman a la riqueza en cada clase de tamaño (R1, R2 y R3) como variables dependientes. La selección del valor óptimo para el radio, o el tamaño mínimo de parche vecino, se llevó a cabo graficando el valor de "t" obtenido para los respectivos parámetros al incorporarlos al modelo anterior, en función de los valores de radio o área. En los modelos finales se utilizaron radios para los cuales las diferentes clases de tamaño presentaron valores cercanos a la significancia de la variable dentro del modelo. Ante similares contribuciones a diferentes radios se priorizaron los más cercanos a las distancias las cuales los procesos de dispersión comienzan a resultar limitantes (150 a 300 m). De manera similar se graficaron los valores de t que representaron la contribución de la distancia al parche más cercano de bosque nativo considerando diferentes áreas mínimas de parche. Ante contribuciones similares de diferentes áreas se priorizaron aquellas para las cuáles se observó mayor independencia de los datos evitando que diferentes rodales tuvieran el mismo fragmento como más cercano. Esta falta de independencia se observó al aumentar el área mínima de fragmento.

El efecto del uso previo se evaluó incorporando como variables indicadoras el uso previo forestal (los rodales con uso previo forestal recibieron valor "1" y los demás "0") y bosque nativo (los rodales con uso previo bosque nativo recibieron valor "1" y

los demás "0"). De esa manera los rodales con uso previo agrícola recibieron siempre valor "0" representando el testigo contra el que se compara el efecto de los demás usos previos.

### **Análisis de datos: Modelo espacial**

Se llevó a cabo un análisis de tendencia en el espacio (Haining 1993) para evaluar la existencia de una distribución no aleatoria en los residuos de los modelos ajustados entre la abundancia y riqueza de la regeneración y las variables a nivel del rodal y del paisaje. Una distribución espacial no aleatoria de la variación no explicada por esos modelos podría indicar que existen regiones geográficas estudiadas donde la regeneración presenta riqueza o abundancia más alta que lo predicho (si predominan residuos positivos) o más baja que lo predicho (si predominan residuos negativos). Se utilizaron como variables independientes las coordenadas espaciales (x e y) así como su producto y su valores cuadráticos (x.y,  $x^2$ ,  $y^2$ ). De esa manera los modelos podrían detectar tendencias lineales en latitud, longitud y su interacción y así como la existencia de valores máximos localizados en posiciones intermedias del área estudiada.

### **Análisis de datos: Composición**

Se llevaron a cabo análisis multivariados (Análisis de Componentes Principales) y modelos lineales de regresión. Los análisis de componentes principales se llevaron a cabo a partir de los datos de frecuencia por especie incluyendo solamente aquellas que se hallaron en al menos tres rodales. La frecuencia fue calculada a partir de la presencia/ausencia de especies en cada una de las cuatro parcelas que

compusieron la muestra en cada rodal. Los ejes 1 a 3 obtenidos en el análisis de cada clase de tamaño fueron incluidos en modelos lineales para establecer en qué medida las variaciones composicionales que esos ejes se relacionaban con diferencias de edad, área basal de pino, presencia de bosque nativo en el entorno y uso previo.

### **Distribuciones de la abundancia por clase de tamaño**

Se analizaron diferencias entre especies en cuanto a la distribución de la abundancia por clase de tamaño (clases 1 a 3) en rodales agrupados por clase de edad en jóvenes (menores de 10 años), intermedios (10 a 20 años) y maduros (mayores de 20 años). De esa manera quedaron definidas 9 variables que fueron utilizadas para calcular una matriz de distancia euclidiana. Previo al cálculo de las distancias se aplicó una transformación a raíz cuadrada para evitar que los valores muy elevados dominaran el análisis. A partir de esa matriz de distancia se llevó a cabo un análisis de clasificación graficado mediante un dendrograma aplicando la técnica aglomerativa de Ward (Jongman et al. 1995).

### **Comparación con bosque nativo**

En este trabajo se estimó la riqueza de especies como un índice simple de la diversidad y se utilizaron curvas de rarefacción para evaluar si la diversidad de especies por clase de tamaño fue distinta en las plantaciones respecto al bosque nativo. Se utilizaron las curvas de rarefacción que representan la riqueza de especies en función del área o número de individuos observados, como un método adecuado de estimación y comparable entre diferentes situaciones estudiadas

(Gotelli y Colwell 2001). Se adoptó el marco conceptual dado por Magurran (1988), Gotelli y Colwell (2001) y Magurran (2004), según el cual la diversidad biológica refiere a la variedad biológica a diferentes niveles de organización, desde las especies hasta los ecosistemas, y utilizando diferentes criterios de clasificación como taxonómico y funcional. En ese esquema la riqueza de especies representa la medida más simple de la diversidad específica (Magurran 1988, Gotelli y Colwell 2001). Para construir las curvas de rarefacción se utilizó el software estadístico iNEXT online (Chao y Hsieh 2016) y la función “specaccum” del paquete “vegan” del programa R (Oksanen et al. 2013).

Además, se realizaron análisis descriptivos para identificar especies propias del bosque nativo y/o plantación.

## RESULTADOS

### Descripción de los sitios

La edad de las plantaciones varió entre 7 y 54 años con densidades desde 242 hasta 1567 individuos.ha<sup>-1</sup>, mientras que el área basal varió entre 15 y 42.8 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Se registró un total de 114 especies arbóreas distribuidas en 36 familias botánicas (Tabla 2.2).

Tabla 2. 2. Lista de especies arbóreas presentes en las plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Especie: Nombre científico aceptado, marzo 2016. Código: Abreviatura de la especie. Familia: Familia botánica a la que pertenece la especie. NC: Nombre común de la especie más utilizado en Misiones.

<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Familia</b>	<b>NC</b>
<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll. Arg.	actcon	Euphorbiaceae	Laranjeira
<i>Aegiphila brachiata</i> Vell.	aegbra	Lamiaceae	Pelotero
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	albnio	Fabaceae	Anchico blanco

Tabla 2.2. Continuación...

<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Familia</b>	<b>NC</b>
<i>Alchornea sidifolia</i> Müll. Arg.	alcsid	Euphorbiaceae	Mora blanca
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. ssp. <i>iricurana</i> (Casar.) Secco	alcgla	Euphorbiaceae	Mora blanca
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	alctri	Euphorbiaceae	Mora blanca
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.	alledu	Sapindaceae	Cocú
<i>Allophylus guaraniticus</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	allgua	Sapindaceae	Cocú-ra
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Pers. var. <i>virgata</i>	alovir	Verbenaceae	Palo lija
<i>Annona rugulosa</i> (Schltdl.) H. Rainer	annrug	Annonaceae	Araticú
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	apulei	Fabaceae	Grapia
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	araang	Araucariaceae	Pino paraná
<i>Aspidosperma australe</i> Müll. Arg.	aspaus	Apocynaceae	Guatambú amarillo
<i>Ateleia glazioviana</i> Baill.	ategla	Fabaceae	Timbó de campo
<i>Bauhinia forficata</i> Link ssp. <i>pruinosa</i> (Vogel) Fortunato & Wunderlin	baufor	Fabaceae	Pata de buey
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	balrie	Rutaceae	Guatambú blanco
<i>Banara parviflora</i> (A. Gray) Benth.	banpar	Salicaceae	Pitumba Guazatumba hoja grande
<i>Banara tomentosa</i> Clos	bantom	Salicaceae	
<i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl.	basden	Malvaceae	Loro blanco
<i>Brunfelsia australis</i> Benth.	bruaus	Solanaceae	Jazmín del Paraguay
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	cabcan	Meliaceae	Cancharana
<i>Calliandra foliolosa</i> Benth.	calfol	Fabaceae	Plumerillo
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg var. <i>xanthocarpa</i>	camxan	Myrtaceae	Guabirá
<i>Casearia sylvestris</i> Sw. var. <i>sylvestris</i>	cassyl	Salicaceae	Burro caá
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	casdec	Salicaceae	Guazatumba
<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler	caslas	Salicaceae	Espeto
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	cecpac	Cecropiaceae	Ambay
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedfis	Meliaceae	Cedro
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	celigu	Celtidaceae	Tala
<i>Cestrum laevigatum</i> Schltdl.	ceslae	Solanaceae	Bola de venado
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler) Engl.	chrgon	Sapotaceae	Aguay
<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk. ssp. <i>marginatum</i>	chrmar	Sapotaceae	Basuriña
<i>Cinnamomum amoenum</i> (Ness & Mart.) Kosterm.	cinamo	Lauraceae	Canela
<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A. Howard	citpan	Cardiopteridaceae	Yerbón
<i>Citrus aurantium</i> L.	citrus	Rutaceae	Apepú
<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S. Mill.	corame	Boraginaceae	Guayubira
<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	coreca	Boraginaceae	Colita
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	cortri	Boraginaceae	Loro negro
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	cupver	Sapindaceae	Camboata colorado
<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	dencun	Araliaceae	Omburá

Tabla 2.2. Continuación...

<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Familia</b>	<b>NC</b>
<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	diasor	Sapindaceae	Maria preta
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F. Macbr.	endpan	Lauraceae	Laurel petiso
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	entcon	Fabaceae	Timbó colorado
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	erijap	Rosaceae	Nispero
<i>Eugenia burkartiana</i> (D. Legrand) D. Legrand	eugbur	Myrtaceae	Typycha arroyo
<i>Eugenia hyemalis</i> Cambess. var. <i>marginata</i> (O. Berg) D. Legrand	eughye	Myrtaceae	-----
<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess. var. <i>pyriformis</i>	eugpyr	Myrtaceae	Ubajai chico
<i>Eugenia uniflora</i> L.	euguni	Myrtaceae	Pitanga
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	eutedu	Arecaceae	Palmito
<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	ficlus	Moraceae	Higuera
<i>Gleditsia amorphoides</i> (Griseb.) Taub. var. <i>amorphoides</i>	gleamo	Fabaceae	Espina corona
<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	guakun	Meliaceae	Carayá bola
<i>Guarea macrophylla</i> Vahl ssp. <i>spiciflora</i> (A. Juss.) T.D. Penn.	guamac	Meliaceae	Cedrillo
<i>Helietta apiculata</i> Benth.	helapi	Rutaceae	Canela de venado
<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth	helpop	Tiliaceae	Afata
<i>Holocalyx balansae</i> Micheli	holbal	Fabaceae	Alecrin
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	hovdul	Rhamnaceae	Hovenia
<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek	ilebre	Aquifoliaceae	Cauna
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil. var. <i>paraguariensis</i>	ilepar	Aquifoliaceae	Yerba mate
<i>Inga affinis</i> DC.	ingaff	Fabaceae	Ingá colorado
<i>Inga marginata</i> Willd.	ingmar	Fabaceae	Ingá chico
<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	jacmic	Bignoniaceae	Caroba
<i>Lonchocarpus campestris</i> Mart. ex Benth.	loncam	Fabaceae	Rabo itá
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	lonmue	Fabaceae	Rabo molle
<i>Lonchocarpus nitidus</i> (Vogel) Benth.	lonnit	Fabaceae	Rabo abá
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	luediv	Tiliaceae	Zoita
<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	macpar	Fabaceae	Isapui pará
<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	macsti	Fabaceae	Isapui morotí
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steud. ssp. <i>tinctoria</i>	mactin	Moraceae	Mora amarilla
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	matela	Sapindaceae	Camboata blanco
<i>Melia azedarach</i> L.	melaze	Meliaceae	Paraiso
<i>Miconia pusilliflora</i> (DC.) Naudin	micpus	Melastomataceae	Caá tirí
<i>Morus alba</i> L.	moralb	Moraceae	Mora
<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	myrfro	Fabaceae	Incienso
<i>Myrsine balansae</i> (Mez) Otegui	myrbal	Myrsinaceae	Pororoca
<i>Myrsine parvula</i> (Mez) Otegui	myrpar	Myrsinaceae	Resinoso
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees & Mart. ex Nees	neclan	Lauraceae	Laurel amarillo
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	necmeg	Lauraceae	Laurel negro
<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	ocodio	Lauraceae	Laurel ayuí
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	ocopub	Lauraceae	Laurel guaica

Tabla 2.2. Continuación.

<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Familia</b>	<b>NC</b>
<i>Ocotea pulchella</i> (Nees) Mez	ocopul	Lauraceae	Canela layana
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	parrig	Fabaceae	Anchico colorado
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	peldub	Fabaceae	Cañafistola
<i>Pilocarpus pennatifolius</i> Lem.	pilpen	Rutaceae	Jaborandí
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schltld.) D. Dietr.	prubra	Rosaceae	Persiguero
<i>Psidium guajava</i> L.	psigua	Myrtaceae	Guayaba
<i>Randia armata</i> (Sw.) DC. var. <i>armata</i>	ranarm	Rubiaceae	Ñuatí curuzú
<i>Annona emarginata</i> (Schltld.) H. Rainer	annema	Annonaceae	Araticú
<i>Annona neosalicifolia</i> H. Rainer	annneo	Annonaceae	Araticú
<i>Rudgea jasminoides</i> (Cham.) Müll. Arg. ssp. <i>jasminoides</i>	rudjas	Rubiaceae	Jasmín de monte
<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.	ruplax	Polygonaceae	Marmelero
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	sapgla	Euphorbiaceae	Curupí caí
<i>Sapium haematospermum</i> Müll. Arg.	saphae	Euphorbiaceae	Curupí
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	schter	Anacardiaceae	Mollecito
<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	sebbra	Euphorbiaceae	Palo leche
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	sebcom	Euphorbiaceae	Blanquillo
<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth.	symuni	Symplocaceae	Leña de papel
<i>Solanum granulosum-leprosum</i> Dunal	solgra	Solanaceae	Fumo bravo
<i>Solanum pseudoquina</i> A. St.-Hil.	solpse	Solanaceae	Bola de venado
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C.Burger, Lanj. & Wess.Boer	sorbon	Moraceae	Ñandipa
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	stylep	Styracaceae	Carne de vaca
<i>Strychnos brasiliensis</i> (Spreng.) Mart.	strbra	Loganiaceae	Espolón de gallo
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	syarom	Arecaceae	Pindó
<i>Tabernaemontana catharinensis</i> A. DC.	tabcat	Apocynaceae	Horquetero
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	tremic	Celtidaceae	Palo polvora
<i>Trichilia catigua</i> A. Juss.	tricat	Meliaceae	Catigua
<i>Trichilia elegans</i> A. Juss.	triele	Meliaceae	Catigua chico
<i>Vassobia breviflora</i> (Sendtn.) Hunz.	vasbre	Solanaceae	Fruta de paloma
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	vitmeg	Lamiaceae	Tarumá
<i>Xylosma tweediana</i> (Clos) Eichler	xyltwe	Salicaceae	Azucará
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	zanfag	Rutaceae	Curaturá
<i>Zanthoxylum petiolare</i> A. St.-Hil. & Tul.	zanpet	Rutaceae	Naranjillo
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	zanrho	Rutaceae	Mamica

En la clase de tamaño 1 se registraron 79 especies, en la clase 2 93 especies y en la clase 3 62 especies. La abundancia promedio de árboles nativos que regeneraban en el sotobosque fue de 2643 individuos.ha<sup>-1</sup> en la clase 1, 3843

individuos.ha<sup>-1</sup> en la clase 2 y 1271 individuos.ha<sup>-1</sup> en la clase 3. Las especies variaron en abundancia según la clase de tamaño considerada (Tabla 2.3)

Tabla 2. 3. Abundancia (ind.ha<sup>-1</sup>) de las 20 especies de renovales más abundantes para cada clase de tamaño (clase 1, 2 y 3) en plantaciones de *P. taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Total: Suma de las abundancias de las clase de tamaño 1, 2 y 3. Las familias y nombres comunes de las especies se encuentran en la Tabla 2.2.

Especie	clase 1	clase 2	clase 3	Total
<i>Lonchocarpus campestris</i>	391	19	0	410
<i>Matayba elaeagnoides</i>	163	20	2	185
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	143	40	0	183
<i>Nectandra lanceolata</i>	126	34	6	166
<i>Trema micrantha</i>	49	107	1	157
<i>Cupania vernalis</i>	120	29	0	149
<i>Machaerium paraguariensis</i>	126	16	0	142
<i>Cecropia pachystachia</i>	43	81	13	137
<i>Cestrum laevigatum</i>	109	16	0	125
<i>Machaerium stipitatum</i>	100	23	0	123
<i>Allophylus edulis</i>	77	39	2	118
<i>Parapiptadenia rigida</i>	69	29	2	100
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	91	0	0	91
<i>Ocotea puberula</i>	66	16	4	86
<i>Nectandra megapotamica</i>	43	27	10	80
<i>Albizia niopoides</i>	71	0	0	71
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	71	0	0	71
<i>Cabralea canjerana</i>	34	19	1	54
<i>Melia azedarach</i>	37	0	6	43
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	0	36	3	39
<i>Holocalyx balansae</i>	37	0	0	37
<i>Helietta apiculata</i>	0	22	2	24
<i>Solanum granulosum-leprosum</i>	0	13	8	21
<i>Ilex paraguariensis</i>	0	12	3	15
<i>Bauhinia forficata</i>	0	13	0	13
<i>Prunus brasiliensis</i>	0	0	3	3
<i>Cordia americana</i>	0	0	2	2
<i>Ocotea diospyrifolia</i>	0	0	2	2
<i>Luehea divaricata</i>	0	0	1	1

## Suficiencia de muestreo

Las curvas de acumulación de especies que representa la riqueza de especies en función del número de individuos tendieron a presentar mejor estabilidad que las curvas que representan la riqueza de especies en función del área muestreada. Las primeras muestran que para llegar a la riqueza aproximada de 80 especies en la clase 1 se necesitan relevar 900 individuos, en la clase 2 se necesitan 1200 individuos para alcanzar una riqueza de 90 especies y en la clase 3 se necesitaron 450 individuos para alcanzar un valor de 60 especies (Figura 2.6). Las curvas que utilizan el área de muestreo indicaron que se encontró aproximadamente 70 especies en las clases 1 y 2 con superficies muestreadas de 0.35 y 1.2 ha respectivamente, en cambio en la clase 3 se encontró 60 especies en un área de 4.2 ha. Las curvas de acumulación de especies no llegaron a estabilizarse claramente, sin embargo, la cobertura de muestreo indicó que el porcentaje de especies captadas por el muestreo fue cercano al 100 %. En la clase 1 fue 97.4 %, en la clase 2 fue 98.6 % y en la clase 3 fue 95.8 %.

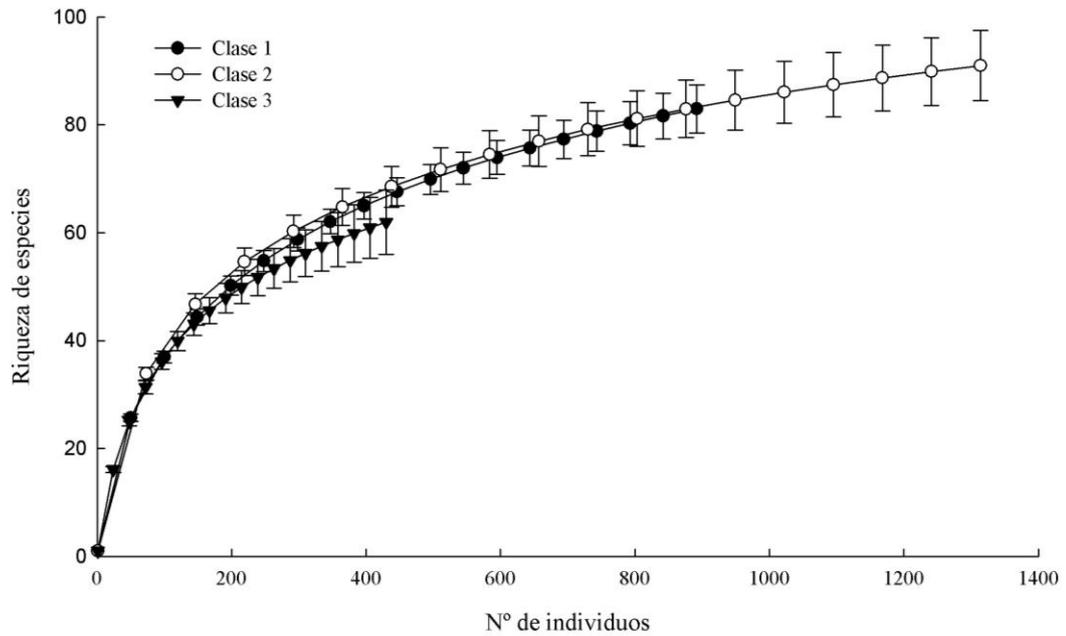


Figura 2. 6. Curvas de rarefacción para las 3 clases de tamaños de renovales en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Las barras representan los intervalos de confianza.

### Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la riqueza y abundancia de renovales

En la clase de menor tamaño de árboles nativos únicamente se encontró un efecto positivo marginalmente significativo de la edad de la plantación sobre R1 (Tabla 2.4) y no se encontró influencia de esta variable sobre A1. El área basal no influyó sobre la riqueza y abundancia en esta clase de tamaño. Los efectos del área basal y edad de la plantación sobre la riqueza y abundancia de renovales de árboles nativos de las clases de tamaños 2 y 3 fueron similares (Figura 2.7). La edad de la plantación influyó de manera positiva, y el área basal de manera negativa (Tabla 2.4). La edad presentó efectos más fuertes que el área basal e influyó de manera

similar sobre la abundancia y la riqueza de las clases de tamaño 2 y 3. El efecto del área basal influyó más sobre A2 y A3 que sobre R2 y R3.

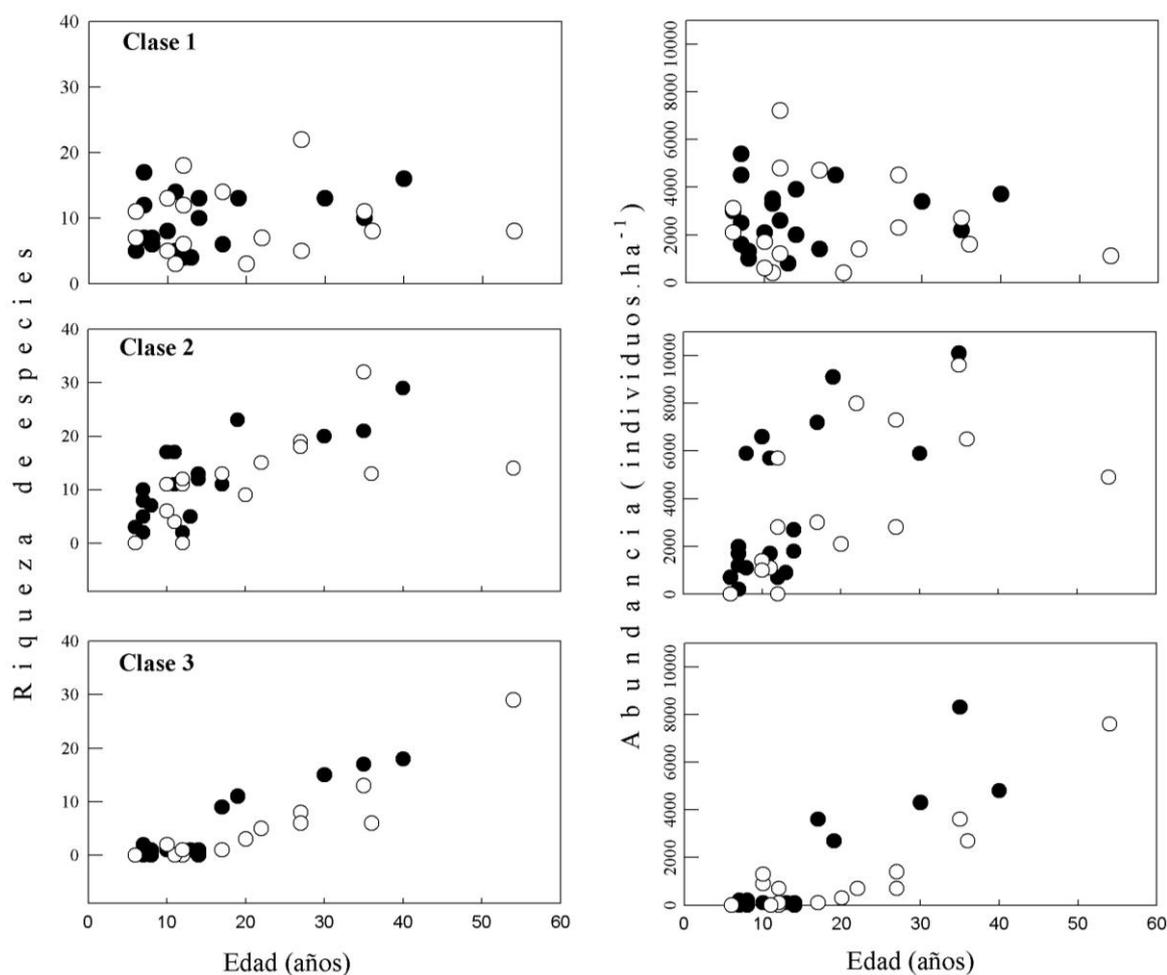


Figura 2.7. Valores de riqueza (izquierda) y abundancia (derecha) por clase de tamaño de renovales en función de la edad del rodal en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos rellenos: plantaciones con área basal menor a  $29 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , puntos vacíos: plantaciones con área basal mayor o igual a  $29 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

La relación entre el valor de "t" y el radio considerado para determinar el efecto del bosque nativo en torno de cada rodal muestreado, indicó las distancias a las cuales la proporción de bosque nativo resultó más influyente sobre la riqueza de cada clase de tamaño en los rodales de pino (Figura 2.8). La clase de tamaño

intermedia (R2) se mantiene por debajo de los niveles de significancia a todos los radios considerados (Figura 2.8). En cambio, para R1 y R3 se observó un efecto significativo en los radios de 300 y 600 m. La distancia al parche de bosque nativo más cercano presentó un efecto creciente sobre la riqueza de los renovales de la clase 1 y 2 al aumentar el área mínima del parche mientras que para R3 se mantuvo estable. Solo para R1 los valores fueron significativos. Para el área mínima de 10 ha se observó un efecto de esta variable sobre la riqueza que resultó similar al observado para áreas mínimas mayores (Figura 2.10) pero manteniendo una baja proporción de rodales compartiendo el parche de bosque nativo más cercano. Al incluir en los modelos de regresión la proporción de bosque nativo en una radio de 300 m y la distancia al parche de bosque nativo más cercano, con un área mínima de 10 ha, la proporción de bosque nativo resultó seleccionada.

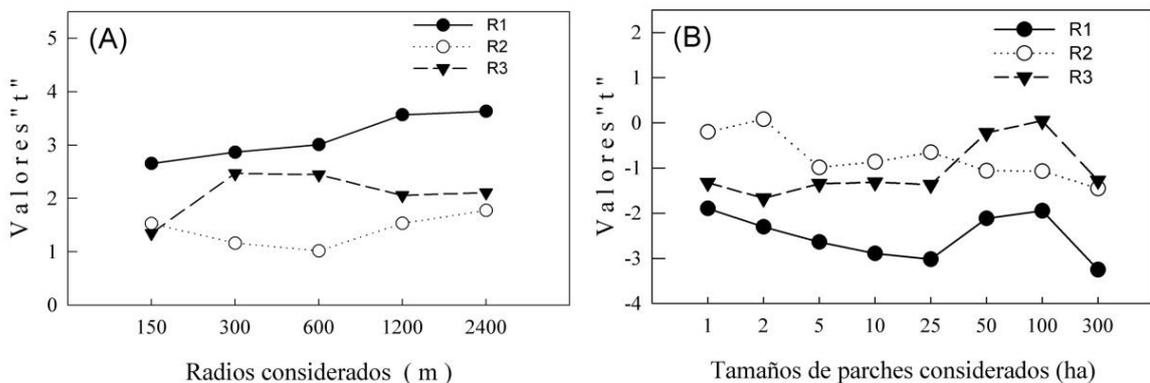


Figura 2.8. Valores de "t" de los modelos de regresión múltiple para los distintos radios considerados (A) y para las distancias a los fragmentos de bosque nativo más cercanos (B) a las plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina.

R1, R2 y R3: Riqueza de especies para las clase de tamaño 1, 2 y 3 respectivamente.

La proporción de bosque nativo en un radio de 300 m en torno a cada punto de muestreo resultó influyente en las clases de tamaños 1 y 3 de renovales de árboles

nativos, no así en la clase de tamaño intermedia (Tabla 2.4). El efecto más fuerte de esta variable predictora fue sobre R1, en cambio sobre A1 fue marginalmente significativo. Tanto para la riqueza como para la abundancia de los renovales de árboles nativos de la clase de tamaño 3 los resultados fueron similares en los niveles de significancia. Cuando la proporción de bosque nativo fue igual o mayor a 20 % se observó una tendencia en el aumento de la riqueza en las 3 clases de tamaños, siendo la mayor diferencia en la clase de menor tamaño (Figura 2.10).

El uso previo forestal presentó un efecto positivo mayor sobre la riqueza de la clase 1, respecto del uso agrícola. El bosque nativo como cobertura previa a la plantación resultó en una mayor riqueza que el uso previo agrícola en la clase 3.

Tabla 2.4. Resultados de las regresiones múltiples con la riqueza (número de especies) y la abundancia (número de individuos) de renovales de especies arbóreas nativas sobre la estructura, bosque nativo en el entorno y uso previo en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. A1, A2 y A3: Abundancia de renovales de árboles nativos en las clases de tamaño 1, 2 y 3, respectivamente. R1, R2 y R3: Riqueza de especies en las clases de tamaño 1, 2 y 3, respectivamente. Edad: edad de la plantación (años). AB: área basal (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>). Densidad: n° de pinos.ha<sup>-1</sup>. DCM: Diámetro cuadrático medio (cm). % RTT: Radiación total transmitida (%). % AD: Abertura del dosel (%). IAF: Índice de área foliar específica. BN300: superficie de bosque nativo en el entorno en un radio de 300 m (ha). DBN: distancia al parche más cercano (m). UP2: uso previo forestal, UP3: uso previo bosque nativo. R<sup>2</sup>: coeficiente de regresión. ns: no significativo. \*\*: P<0,01, \*: P<0,05, .: P<0,1), : no significativo.

Tipo de modelo	Variables independientes	Variables dependientes					
		A1	R1	A2	R2	A3	R3
Solo variables a nivel del rodal	Edad	-0.29	0.83	6.53***	6.13***	9.50***	12.49***
	AB	-0.27	0.36	-3.17**	-2.24*	-1.94.	-1.08
	Densidad	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
	DCM	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
	% RTT	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
	% AD	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
	IAF	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
	R <sup>2</sup>	-0.05	-0.02	0.55***	0.51***	0.72***	0.82***
Con variables a nivel de rodal y paisaje	Edad	0.25	1.71.	6.32***	6.23***	10.31***	13.58***
	AB	-1.13	-0.97	-3.01**	-2.53*	-2.87**	-2.18*
	BN300	1.90.	2.86**	0.51	1.16	2.25*	2.46*
	DBN	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
	R <sup>2</sup>	0.02	0.16*	0.54***	0.51***	0.75***	0.85***
Con variables a nivel de rodal, del paisaje y uso previo	Edad	-0.02	1.89.	5.44***	5.54***	8.73***	11.90***
	AB	-1.08	-0.85	-2.90**	-2.48*	-3.02**	-2.27*
	BN300	1.76.	3.28**	0.51	1.28	1.61	2.019.
	UP2	0.53	1.90.	0.54	1.32	-0.99	-0.1
	UP3	1.06	0.81	0.81	1.59	1.16	1.93.
	R <sup>2</sup>	-0.001	0.20*	0.52***	0.53***	0.76***	0.86***

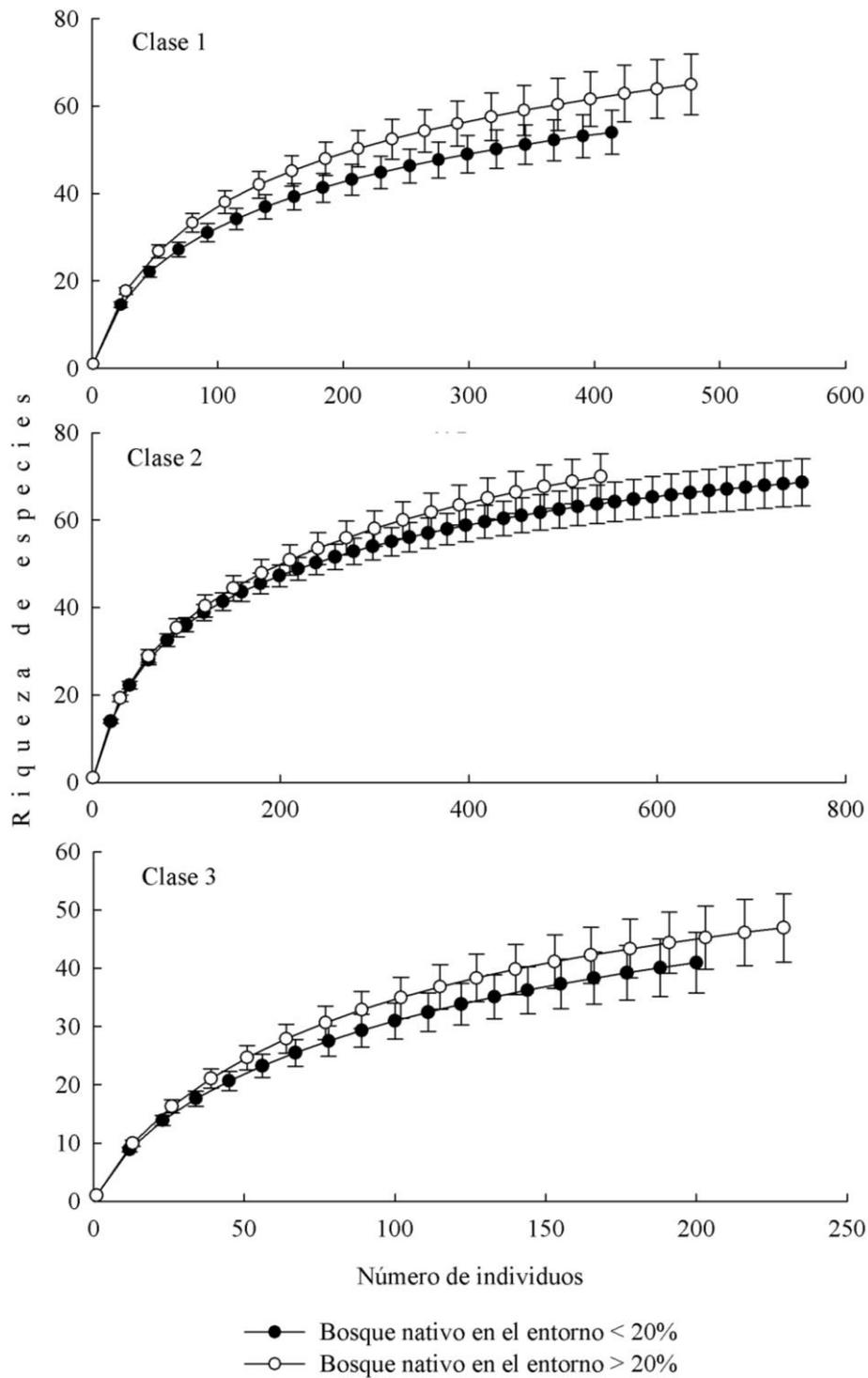


Figura 2.9. Curvas de rarefacción para las 3 clases de tamaños de renovales clasificados por proporción de bosque nativo en el entorno de las plantaciones de *P. taeda* en el N de Misiones, Argentina. Las barras representan los intervalos de confianza.

## **Modelo espacial**

Los residuos de los modelos ajustados para evaluar la incidencia de las variables a nivel del rodal y del paisaje sobre la riqueza y abundancia de renovales de árboles nativos, no presentaron ajustes significativos con las variables espaciales en la mayor parte de los casos (Tabla 2.5). Esos resultados indicaron que los desvíos de los valores observados, respecto de las predicciones de riqueza y abundancia de renovales, realizadas a partir variables a nivel del rodal y del paisaje, fueron independientes de la ubicación geográfica de los rodales. La excepción a este resultado lo representó el modelo de la riqueza de la clase de tamaño 2, en la que el modelo fue significativo con un bajo porcentaje de varianza explicada (Tabla 2.5). En este caso los rodales ubicados al NO del área estudiada tendieron a presentar mayores abundancias y riquezas que lo predicho. Dada la tendencia general de falta de tendencia espacial, y la débil relación hallada para la clase de tamaño 2, se decidió aceptar los modelos basados en variables del rodal y del paisaje asumiendo independencia espacial de los datos.

Tabla 2.5. Resultados de las regresiones múltiples con la riqueza (número de especies) y la abundancia (número de individuos) de renovales presentes en las plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina sobre la latitud (y) y longitud (x). CT: Clase de tamaño de renovales. VD: Variable dependiente. Ord.: Ordenada al origen. M: Modelo. \*\* P<0,01, \* P<0,05, .: P<0,1), : no significativo.

CT	VD	Ord.	x	y	x2	y2	xy	r2	M
	Residuos			-6.50E-	-2.00E-	2.60E-	3.70E-		0.7
1	Riqueza	2.20E+05	3.30E-03	02	09	09	09	-0.06	1
	Residuos				-3.40E-	9.80E-	-8.90E-		0.6
	Abundancia	-6.20E+07	11	5.3	07	08	07	-0.04	2
	Residuos								0.0
2	Riqueza	6.6E5*	-1.40E-02	-0.17*	-4.8E-9.	5.7E-9*	1.2E-8.	0.22	3
	Residuos				-7.90E-		2.60E-	6.00E-	0.2
	Abundancia	2.20E+08	-6.3	-54.3.	07	2.5E-6*	06	02	5
	Residuos				-2.00E-	-1.30E-	2.90E-	2.20E-	0.9
3	Riqueza	5.70E+04	4.10E-03	02	09	10	09	-0.12	3
	Residuos				-3.70E-	1.50E-	1.10E-		0.9
	Abundancia	4.60E+07	-2.45	-10.4	07	07	06	-0.15	9

### Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la composición de especies

En la clase de menor tamaño se observó un efecto positivo de la edad de la plantación y negativo del uso previo bosque nativo a la plantación sobre la componente principal 1 (Tabla 2.6), los rodales que provinieron de uso previo bosque nativo se diferenciaron de aquellos que provenían de uso agrícola y no del uso forestal. El modelo que utilizó la componente principal 2 como variable dependiente captó el uso previo bosque nativo y la proporción de bosque nativo en el entorno, siendo la segunda con mayor significancia. Los valores de la componente principal 2 indicó que las especies más frecuentes en los sitios que provinieron de uso previo bosque nativo y presentaron mayor proporción de bosque nativo en el entorno, fueron *C. americana*, *N. megapotamica*, *T. catigua*, *B. riedelianum*, *P. rigida*

y *M. elaeagnoides*, mientras que *S. granulosum-leprosum*, *T. catharinensis*, *C. ecalyculata* y *H. apiculata* tendieron a ser más frecuentes en sitios con menos bosque nativo en el entorno (Figura 2.10). No se observaron relaciones significativas con la componente principal 3. La varianza explicada por el eje 1 fue del 12 %, por el eje 2 fue 9 % y por el eje 3 el 7 %.

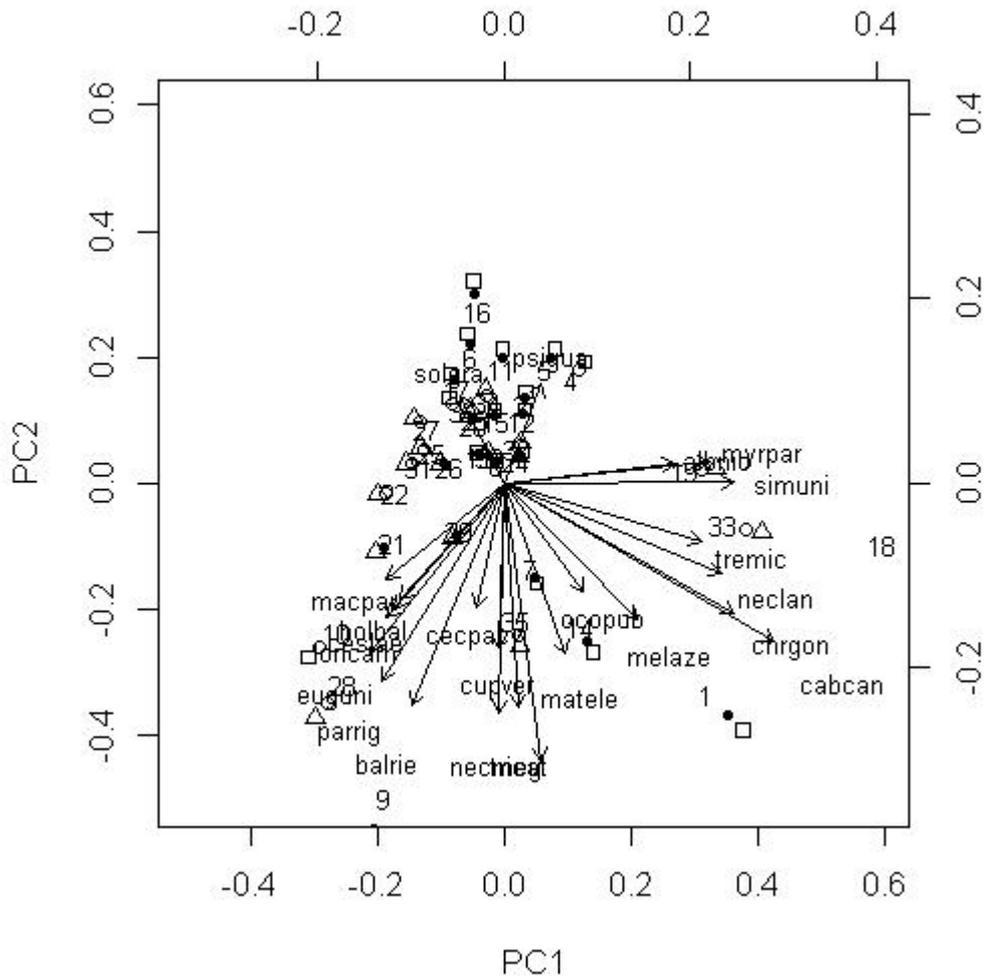


Figura 2.10. Ordenamiento de las especies de renovales y rodales para la clase de tamaño 1 mediante el análisis de componentes principales. Los números corresponden a los rodales. Los cuadros indican rodales con menos del 20 % de bosque nativo en el entorno, y los triángulos sitios con un valor superior al 20 %. Círculos rellenos indican rodales con área basal menor a  $29 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  y los círculos vacíos indican valores superiores. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 2.2).

En la clase de tamaño intermedia los efectos significativos se observaron únicamente sobre la componente principal 1, siendo la de mayor significancia la edad de la plantación seguidas por el efecto negativo del área basal de la plantación y el uso previo bosque nativo en similar magnitud pero sentido contrario. Estos resultados indicaron que las especies más frecuentes en rodales de mayor edad, con uso previo bosque nativo y área basal baja fueron *A. edulis*, *S. terebenthifolius*, *I. paraguariensis* y *C. gonocarpum* (Figura 2.11). La varianza explicada por el eje 1 fue del 19 %, por el eje 2 fue 12 % y por el eje 3 el 10 %.

En la clase de mayor tamaño se observaron efectos significativos de las variables independientes sobre las 3 primeras componentes principales, la edad resultó significativa en la componente principal 1, el área basal en la componente principal 2 y el uso previo bosque nativo presentó diferencias significativas respecto al uso previo agrícola en la componente principal 3. La relación positiva de la edad en el eje 1 indicó que las especies más frecuentes en rodales de mayor edad fueron *M. elaeagnoides*, *I. paraguariensis*, *N. lanceolata*, *P. brasiliensis*, *O. diospyrifolia* y *A. edulis*. La relación negativa del área basal en el eje 2 indicó que las especies más frecuentes en rodales con mayor área basal fueron *L. divaricata*, *C. americana*, *R. laxiflora*, *N. megapotamica*, *A. edulis* y *O. diospyrifolia*, mientras que las especies más frecuentes en rodales con menor área basal fueron *O. puberula*, *C. fissilis*, *S. granulosum-leprosum*, *T. micrantha*, *N. lanceolata* y *C. pachystachya* (Figura 2.12). La relación negativa del uso previo bosque nativo en el eje 3 indica que las especies más frecuentes en los sitios con este uso previo fueron *S. rommanzofiana*, *A. edulis*, *N. megapotamica*, *O. puberula* y *H. dulcis*. La varianza explicada por el eje 1 fue el 34 %, por el eje 2 fue 15 % y por el eje 3 el 13 %.

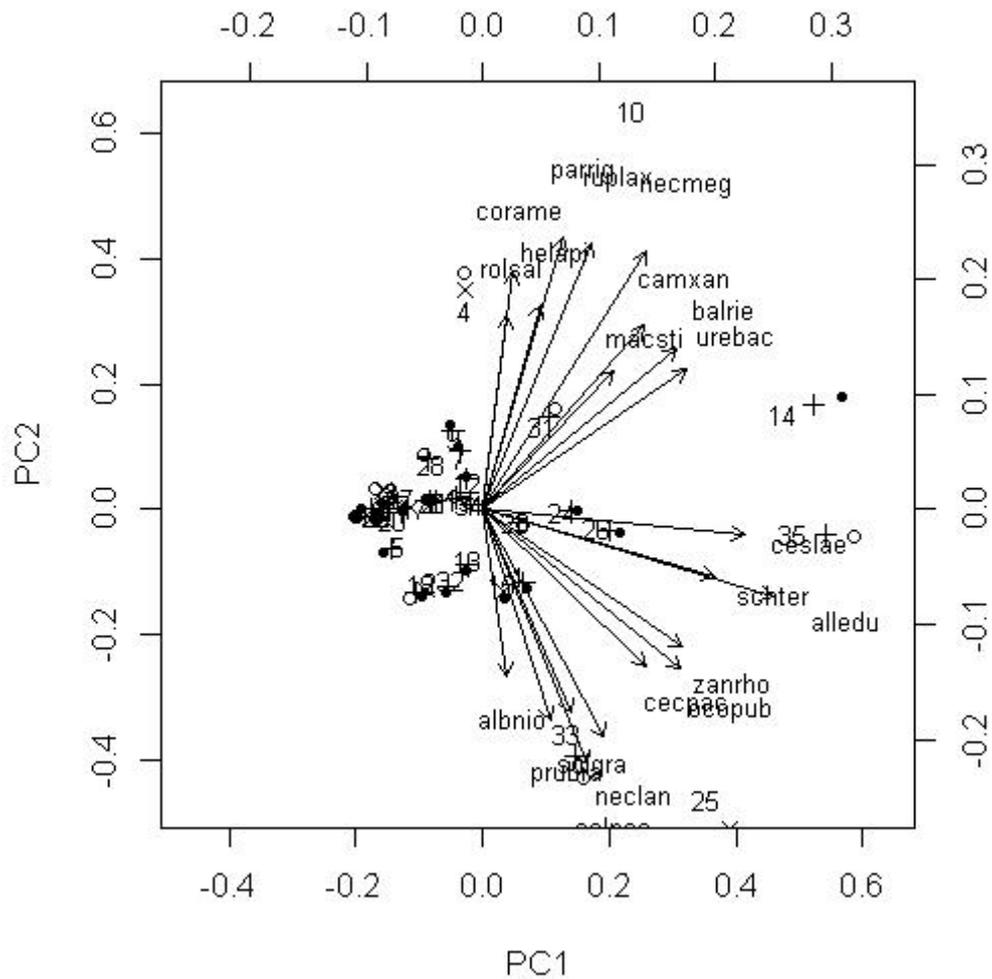


Figura 2.11. Ordenamiento de las especies de renovales y rodales para la clase de tamaño 2 mediante el análisis de componentes principales. Los números corresponden a los rodales. Círculos rellenos indican rodales con área basal menor a  $29 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  y los círculos vacíos indican valores superiores. Signo + indica rodales con edad menor a 20 años, signo x indica valores superiores. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 2.2).

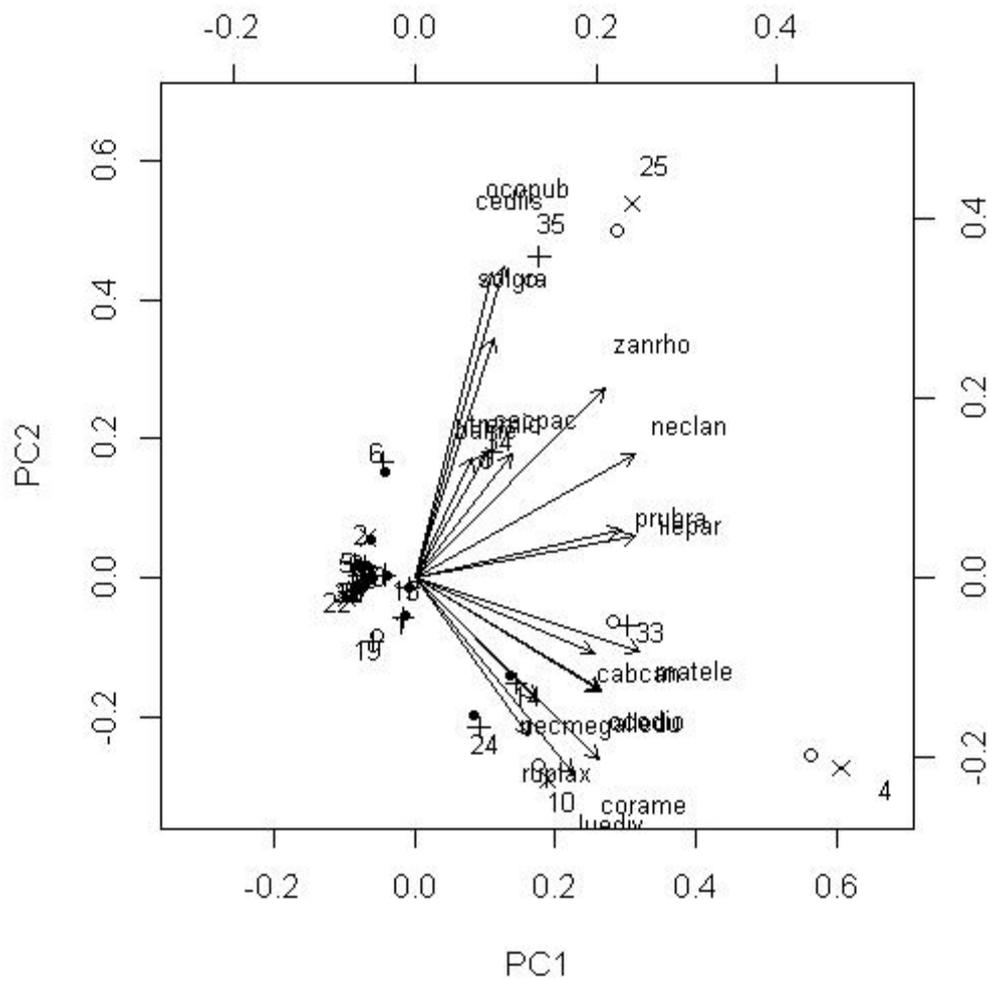


Figura 2.12. Ordenamiento de las especies de renovales y rodales para la clase de tamaño 3 mediante el análisis de componentes principales. Los números corresponden a los rodales. Círculos rellenos indican rodales con área basal menor a  $29 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  y los círculos vacíos indican valores superiores. Signo + indica rodales con edad menor a 20 años, signo x indica valores superiores. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 2.2).

Tabla 2.6. Resultados de las regresiones múltiples con las tres primeras componentes principales sobre las variables estructurales, paisaje y uso previo para las 3 clases de tamaño de renovales presentes en las plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Edad: edad de la plantación (años). AB: área basal de pinos ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ). Densidad: número de pinos ( $ind \cdot ha^{-1}$ ). DCM: diámetro cuadrático medio de pinos (cm). % RTT: radiación total transmitida (%). % AD: apertura del dosel (%). IAF: índice de área foliar específica. BN300: superficie de bosque nativo en un radio de 300 m (ha). DBN: distancia al parche de bosque nativo más cercano. UP2: uso previo forestal. UP3: uso previo bosque nativo. R2: coeficiente de regresión. Ns: no significativo. Modelo 1: únicamente con variables del rodal. Modelo 2: con variables del rodal y paisaje. Modelo 3: con variables del rodal, paisaje y uso previo. \*\* P<0,01, \* P<0,05, .: P<0,1, : no significativo.

Tipo de modelo	Variables independientes	Variables dependientes								
		Clase 1			Clase 2			Clase 3		
		Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Modelo 1	Edad	0.003	-0.001	0.002	0.01***	-0.001	-0.003	0.001***	0.003	-0.0001
	AB	0.005	-0.004	0.004	-0.01**	0.006	-0.0005	-0.003	-0.01*	-0.004
	Densidad	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	DCM	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	% RTT	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	% AD	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	IAF	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	R2	0.05	-0.03	-0.01	0.48	-0.02	-0.01	0.69	0.1	-0.04
Modelo 2	Edad	0.003	-0.004	0.001	0.01***	-0.001	-0.003	0.01***	0.004	0.0009
	AB	0.005	0.005	0.005	-0.01*	0.005	0.0006	-0.005	-0.01*	-0.007
	BN300	-0.01	-0.68**	-0.1	0.06	0.03	-0.07	0.16	0.09	0.19
	DBN	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	R2	0.02	0.24	-0.03	0.46	-0.05	-0.04	0.71	0.08	-0.04
	Modelo 3	Edad	0.006*	-0.003	0.0005	0.01***	-0.003	-0.002	0.01***	0.004
AB		0.005	0.005	0.005	-0.01*	0.005	0.0008	-0.005	-0.01*	-0.007
BN300		0.06	-0.6**	-0.17	0.03	0.01	-0.03	0.12	0.09	0.19
UP3		-0.17*	-0.14*	-0.0003	0.11*	0.13.	-0.09	0.06	0.002	-0.2**
UP2		0.003	-0.08	-0.08	0.02	0.03	0.01	-0.01	-0.0004	-0.09
R2		0.15	0.31	-0.06	0.51	-0.01	-0.05	0.72	0.01	0.13

### Diferencias entre especies en las distribuciones de tamaño

El análisis de clasificación de las distribuciones de abundancia por clase de tamaño permitió definir 6 grupos de especies (Figura 2.13). Un grupo conformado

por *T. micrantha* y *C. pachystachya* que ya en los rodales jóvenes presentaron una distribución desplazada hacia los mayores tamaños y mantuvieron esa distribución en los rodales maduros. Estas especies presentaron sus máximas abundancias de renovales pequeños (clase 1) en los rodales intermedios. Otro grupo abundante conformado por *O. puberula*, *N. megapotamica*, *N. lanceolata*, *A. edulis* y *P. rigida* presentó una tendencia marcadamente diferente con alta proporción de renovales pequeños en rodales de todas las edades y se lo denominó tolerantes. Estas especies alcanzaron abundancias apreciables de individuos mayores de 5 cm de DAP en los rodales maduros. Un grupo semejante al anterior pero con mayor abundancia de individuos en la clase de tamaño 1 de todas las edades fue el conformado por *M. elaeagnoides*, *C. vernalis* y *T. catharinensis*. Un cuarto grupo conformado por *C. canjerana*, *B. riedelianum*, *I. paraguariense*, *R. laxiflora*, *P. brasiliensis*, *S. granulorum-leprosum* y *H. apiculata* presentaron baja abundancia en todas las clases de tamaño y edades, pero alcanzaron tamaños mayores de 5 cm de DAP. *S. granulorum-leprosum* y *H. apiculata* resultaron semejantes a las pioneras pero con menor abundancia de individuos de la clase 1 en rodales jóvenes y maduros, siendo abundantes en rodales intermedios. Otro grupo conformado por *C. fissilis*, *H. balansae*, *C. americana*, *C. gonocarpum* y *E. uniflora* se caracterizó por no presentar individuos mayores a 5 cm de DAP pero se encontraron presentes en todos los rodales y clases de tamaño 1 y 2. El sexto grupo conformado por *M. paraguariense*, *M. stipitatum*, *L. muehlbergianus* y *C. xanthocarpa* presentó abundancias muy altas de renovales menores de 1 cm de DAP en rodales jóvenes e intermedios y un abrupto descenso de esos valores en los rodales maduros. Entre estas especies se encuentran claras tendencias a la propagación vegetativa por

rebrote de órganos subterráneos y altos requerimientos de luz para completar su crecimiento, indicado por las bajas abundancias de individuos mayores de 5 cm de DAP. *L. campestris* presentó la misma tendencia pero el análisis de clasificación lo separó probablemente por triplicar los valores de abundancia respecto a las demás especies del grupo.

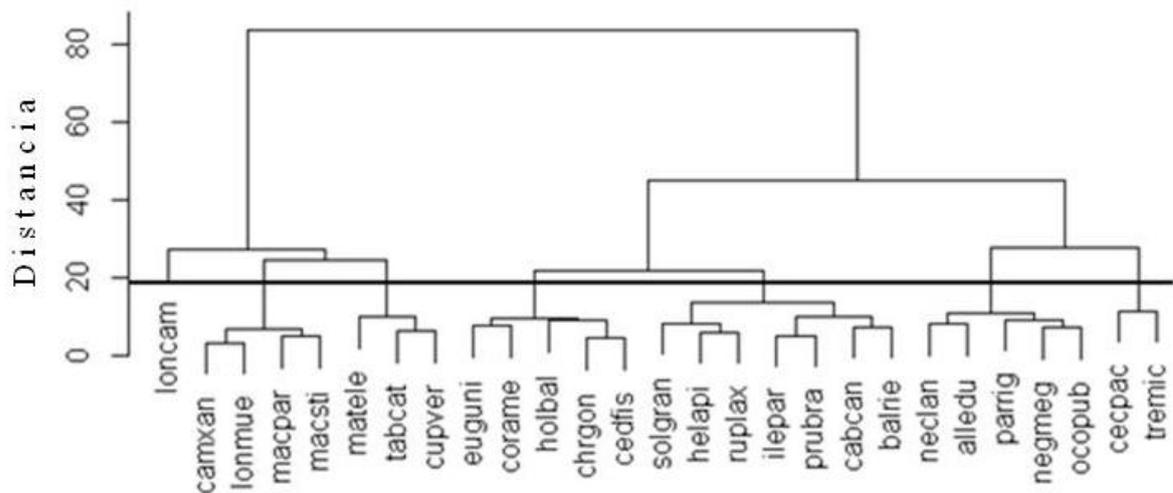


Figura 2.13. Dendrograma del análisis de clasificación sobre la base de la distancia de composición específica de renovales entre clases de tamaño y categorías de edades de los rodales de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y las tres primeras del epíteto específico (ver Tabla 2.2).

### Estructura y regeneración de árboles en los remanentes de bosque nativo

La riqueza de especies en los fragmentos de bosque nativo para la clase mayor a 5 cm de DAP fue de 71 especies, en la clase entre 1 y 5 cm de DAP 46 especies y en la clase menor a 1 cm 43 especies, hallándose un total de 88 especies. El área basal varió entre 10,7 y 29,6 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> con densidades entre 380 y 980 ind.ha<sup>-1</sup>. La distribución diamétrica presentó una forma de j invertida típica de bosques en regeneración, mostrando el predominio de individuos con DAP menor a 15 cm y muy pocos individuos con DAP mayor 35 cm (Figura 2.14).

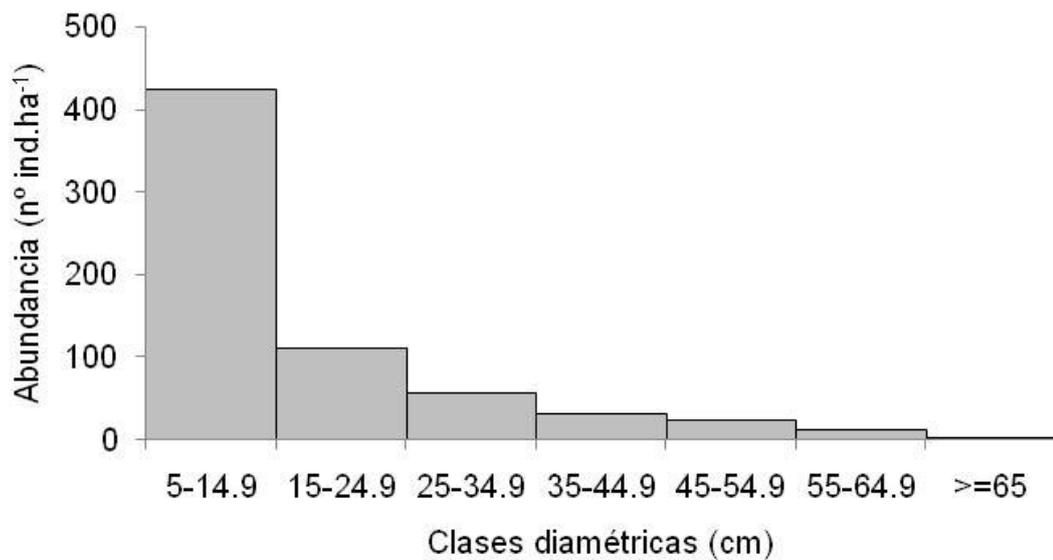


Figura 2.14. Distribución diamétrica de los árboles en los fragmentos de bosque nativo en el Norte de Misiones, Argentina.

En la tabla 2.7 se detallan las 30 especies más abundantes en los fragmentos de bosque nativo con sus respectivas abundancias en las plantaciones, observándose que la mayoría de estas especies presentan mayor abundancia en las plantaciones. A pesar de que todas las especies más abundantes del bosque nativo se encontraron en las plantaciones se observó que 9 de las 27 especies presentes en la clase 3 no estuvieron presentes en las plantaciones, 2 de las 28 especies de la clase 2 no estuvieron en las plantaciones y 2 de las 27 especies de la clase 1 no estuvieron en las plantaciones. *T. catigua*, *T. elegans*, *S. bonplandii* y *P. pennatifolius* fueron las especies más abundantes en las clase 1 y 2. Las especies más abundantes en la clase 3 fueron *B. riedelianum*, *C. gonocarpum* y *C. fissilis*.

Tabla 2.7. Abundancia (ind.ha<sup>-1</sup>) por especie de los renovales de cada clase de tamaño en los fragmentos de bosque nativo y plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Clase 1, 2 y 3: Categorías de tamaño de árboles. ab\_bn: ind.ha<sup>-1</sup> en los remanentes de bosque nativo. ab\_pt: ind.ha<sup>-1</sup> en las plantaciones.

Especie	clase 1		clase 2		clase 3	
	ab_bn	ab_pt	ab_bn	ab_pt	ab_bn	ab_pt
<i>Trichilia catigua</i>	511	400	283	25	31	0
<i>Sorocea bonplandii</i>	444	100	117	25	62	0
<i>Trichilia elegans</i>	311	200	83	100	7	0
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	156	400	94	1275	67	100
<i>Matayba elaeagnoides</i>	267	3500	0	700	4	75
<i>Holocalyx balansae</i>	222	800	11	175	11	8
<i>Strychnos brasiliensis</i>	222	100	11	150	2	8
<i>Pilocarpus pennatifolius</i>	111	100	117	50	4	0
<i>Cupania vernalis</i>	222	2100	0	1000	4	0
<i>Eugenia uniflora</i>	222	400	0	25	0	0
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	133	700	11	200	36	0
<i>Euterpe edulis</i>	133	100	17	0	20	0
<i>Inga marginata</i>	133	200	33	75	0	0
<i>Myrocarpus frondosus</i>	111	200	17	625	7	33
<i>Nectandra megapotamica</i>	67	1000	50	959	18	333
<i>Helietta apiculata</i>	111	400	6	775	9	83
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	89	1200	28	250	7	8
<i>Actinostemon concolor</i>	67	100	50	0	0	0
<i>Lonchocarpus campestris</i>	89	3200	17	675	9	42
<i>Allophylus edulis</i>	67	1700	17	1350	13	58
<i>Eugenia pyriformis</i>	67	200	28	25	2	0
<i>Cedrela fissilis</i>	44	700	11	200	38	25
<i>Guarea kunthiana</i>	67	100	6	475	20	8
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	67	300	6	100	18	0
<i>Nectandra lanceolata</i>	44	2100	11	1200	9	200
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0	600	22	375	20	8
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	22	0	0	75	20	75
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	22	0	0	50	13	0
<i>Parapiptadenia rigida</i>	0	1700	11	1025	18	58
<i>Cabralea canjerana</i>	0	900	11	675	16	50

Las curvas de rarefacción (Figura 2.15) indicaron que en las clases de tamaño 1 y 2 el bosque nativo presentó riqueza de especies algo mayor que las plantaciones a

igual número de individuos relevados. Sin embargo, en la clase 3 la riqueza del bosque nativo fue claramente mayor en los remanentes de bosque nativo.

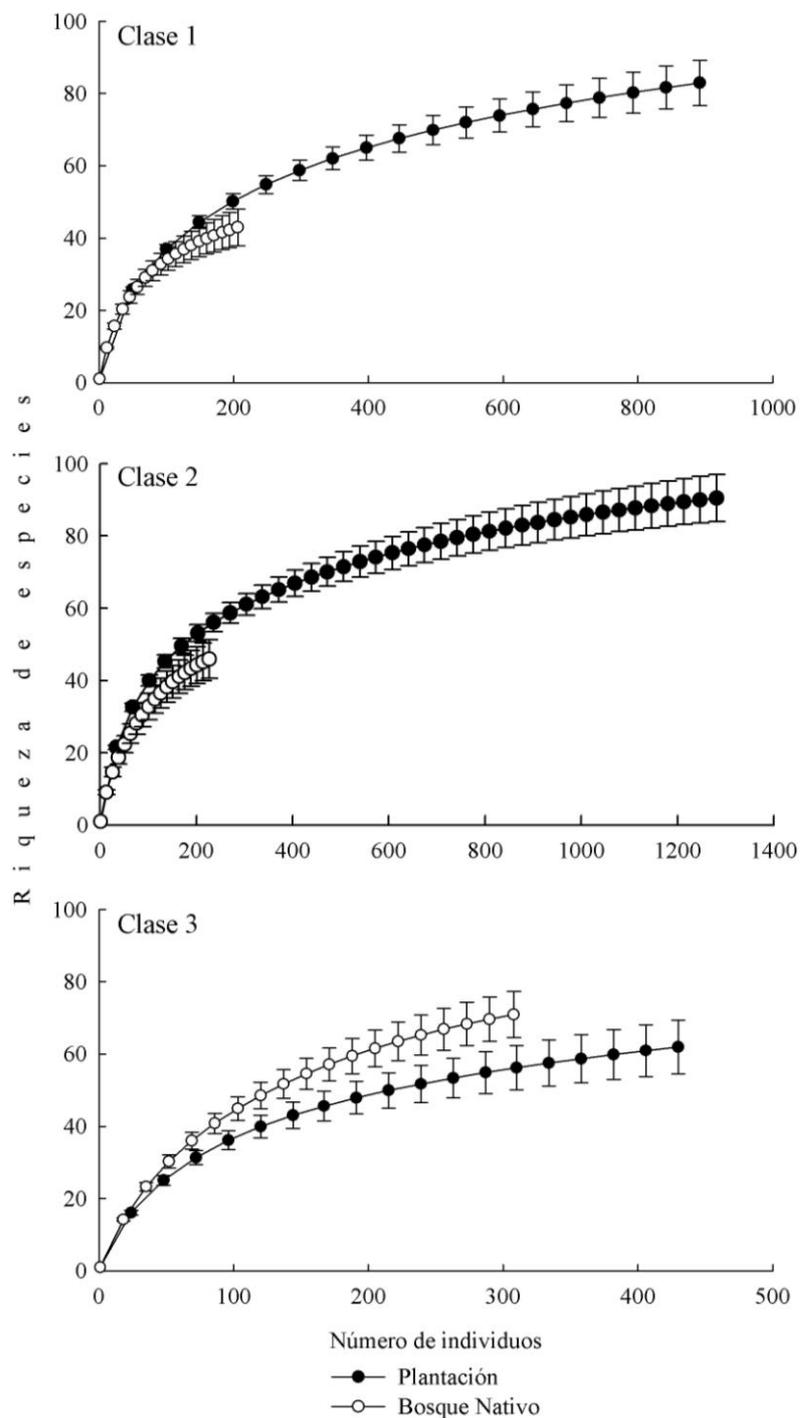


Figura 2.15. Curvas de rarefacción para las 3 clases de tamaños de renovales presentes en los fragmentos de bosque nativo y plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Las barras representan los intervalos de confianza.

## DISCUSIÓN

### **Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la riqueza y abundancia**

Las variables a nivel de rodal, específicamente la edad y área basal de la plantación fueron las más importantes para explicar las variaciones en abundancia y riqueza de los renovales de árboles nativos que superaron 1 cm de DAP (clases de tamaño 2 y 3), pero la abundancia y riqueza de los renovales menores a 1 cm de DAP (clase de tamaño 1) no evidenciaron efectos por parte de estas variables. La relación positiva de la abundancia y riqueza de renovales mayores a 1 cm de DAP con la edad de la plantación, y negativa con el área basal, estarían relacionadas con las condiciones necesarias para el crecimiento de los renovales menores a 1 cm de DAP. Esto indica que las especies arbóreas nativas de la región tienen la capacidad de instalarse bajo las plantaciones de pino en un amplio rango de características estructurales del rodal, pero lo más importante es que la probabilidad de alcanzar tamaños mayores aumenta si el turno de corta es largo (efecto positivo de la edad) y si el área basal se mantiene por debajo de un valor aproximado de  $29 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  mediante la aplicación de raleos (efecto negativo del área basal), a pesar de que esta actividad puede afectar negativamente los patrones de regeneración (Chapman y Chapman, 1996). Senbeta et al. (2002), encontraron que la riqueza de especies no fue lineal con la edad, pero señalan que probablemente se deba a que en las plantaciones jóvenes crecen numerosas especies pioneras que luego desaparecen. Andrae et al. (2004), encontraron que el área basal de la plantación no resultó adecuada para expresar un efecto de la densidad de la plantación sobre las

especies que regeneran en el estrato inferior. Sin embargo, varios autores encontraron que la riqueza de especies aumenta con la edad (Loumeto y Huttel 1997, Norton 1998, Wang et al. 2004, Gachet et al. 2007, Onaindia y Mitxelena 2009, Selwyn y Ganesan 2009), y disminuye con la densidad de ocupación de la plantación (Chen y Cao 2014, Loumeto y Huttel 1997). Las demás variables que definen la estructura del rodal, como el número de individuos por hectárea y las medidas de disponibilidad de luz estimadas mediante el uso de fotografías hemisféricas, no presentaron efectos significativos sobre la abundancia y riqueza de renovales de árboles nativos. Los efectos de la disponibilidad de bosque nativo en el paisaje sobre la regeneración de árboles nativos fueron más claros para los renovales menores a 1 cm de DAP. En éstos, la riqueza fue mayor al aumentar la proporción de bosque nativo en el entorno, a un radio de 300 m, y un efecto similar pero más débil se observó para la abundancia. La proporción de bosque nativo en un radio de 300 m se relacionó mejor con la riqueza de renovales que la distancia al parche más cercano. La proporción de bosque nativo en un radio de 300 m representaría el área desde donde provienen la mayor parte de las semillas que alcanzan el interior de las plantaciones debido a que es muy baja la proporción de semillas dispersadas por encima de esa distancia (Hewitt y Kellman 2002, Carlo et al. 2013). Las fuentes de semillas en los bosques nativos en torno a las plantaciones son indispensables para la regeneración en el interior de las plantaciones (Senbeta y Demel 2001). El efecto limitante de la distancia interfiere sobre los procesos de dispersión entre parches de bosque en paisajes fragmentados y su efecto es mayor en especies con frutos de mayor tamaño. Loumeto y Huttel (1997), Norton (1998) y Cramer et al. (2007), encontraron que la riqueza de especies es dependiente de la

proximidad a los fragmentos de bosque nativo, si los mismos están aislados de las plantaciones la colonización en estas será difícil (Onaindia y Mitxelena 2009). En un estudio realizado en plantaciones de pino Zamora et al. (2010) encontraron que la proporción de borde de la plantación que estaba en contacto con bosque nativo representó un buen predictor del arribo de semillas dispersadas. Ese resultado resalta la importancia de cuantificar la disponibilidad de bosque en el entorno antes que la distancia al mismo en coincidencia con lo hallado en este trabajo.

El efecto del uso previo en combinación con el bosque nativo en el paisaje produjo cierto grado de confusión entre esas fuentes de variación, debido a que la mayor parte de los sitios que provenían de uso previo bosque nativo fueron los que presentaron mayor proporción de bosque nativo en el entorno. A pesar de esa relación siempre se observó que las plantaciones que provienen de un uso previo bosque nativo tendieron a presentar mayor riqueza que las provenientes de uso previo agrícola y forestal independientemente de la proporción de bosque nativo en el paisaje. Loumeto y Huttel (1997) obtuvieron un resultado similar en plantaciones de eucaliptos y Gachet et al. (2007) en plantaciones de pinos. Los sitios que provienen de uso agrícola han sido trabajados intensamente con herramientas manuales, mecánicas y químicas. El resultado encontrado reflejaría el efecto negativo de tales tareas sobre el banco de semillas y de propágulos vegetativos (Gachet et al. 2007) indispensables para la regeneración por vía agámica.

La inexistencia de tendencias espaciales definidas indica que las variables a nivel de rodal y paisaje se relacionan con la riqueza y abundancia de árboles nativos en el interior de estas plantaciones independientemente de la posición geográfica en la región muestreada.

## **Efectos de las variables de rodal, paisaje y uso anterior del suelo sobre la composición de especies**

En las tres clases de tamaño se observó un efecto de la edad, el área basal de la plantación, el uso previo y la disponibilidad de bosque nativo en el entorno sobre la composición de especies. Las diferencias más importantes entre ellas estuvieron relacionadas con el efecto del bosque nativo en el entorno que sólo se observó para la clase de menor tamaño y el efecto del área basal que sólo se observó para las dos clases de mayor tamaño. En los renovales menores, el aumento de la edad y del bosque nativo en el entorno se relacionaron con un aumento de la frecuencia de especies típicas del dosel y subdosel de la Selva Paranaense como *C. americana*, *N. megapotamica*, *T. catigua*, *B. riedelianum*, *P. rigida* y *M. elaeagnoides* (Das Chagas e Silva y Soarea-Silva 2000, Holz 2007, Moscovich et al. 2010) cuyo arribo a las plantaciones se vería favorecido por la presencia de fuentes de propágulos en las cercanías y por el tiempo disponible. En las clases de tamaño mayores el efecto de la edad sobre la composición fue similar al de la clase menor y coincidente con el uso previo bosque nativo. La mayor frecuencia de las especies del dosel y subdosel de especies típicas del Selva Paranaense Selva Paranaense corresponden entonces a plantaciones de mayor edad, mayor disponibilidad de bosque en el entorno y uso previo bosque nativo. El efecto del área basal sobre la categoría mayor indicó un aumento de la frecuencia de especies típicamente descritas como pioneras en el Selva Paranaense *S. granulosum-leprosum*, *T. micrantha* y *C. pachystachya* (Das Chagas e Silva y Soarea-Silva 2000, Holz 2007). Esta tendencia parece contradictoria con el efecto negativo del área basal con la riqueza y que fue interpretado como un efecto competitivo ejercido por la especie plantada. Sin

embargo, la disminución del área basal refleja la aplicación de tratamientos de raleo al que las especies pioneras responden rápidamente y establecen una diferenciación de esos rodales en la composición. También respondieron positivamente especies que fueron consideradas secundarias tempranas o tardías como *O. puberula*, *C. fissilis*, *N. lanceolata* (Das Chagas e Silva y Soarea-Silva 2000, Holz 2007).

Estas variaciones de composición resultaron coherentes con lo observado en la distribución de abundancia por clases de tamaño en rodales jóvenes (6 a 10 años), intermedios (11 a 20 años) y maduros (más de 20 años). Las especies cuyos renovales mayores aumentaron en frecuencias hacia los rodales de menor área basal conformaron grupos que ya en los rodales jóvenes presentaban una distribución desplazadas hacia los mayores tamaños. Las especies cuyos renovales menores fueron más frecuentes en plantaciones de mayor edad y mayor proporción de bosque nativo en el entorno presentaron una distribución de tamaños con alta proporción en los tamaños menores, diferenciándose en que algunas de ellas alcanzaron los tamaños mayores (grupo 2) y otras no (grupo 3 y 5). Esta distribución podría corresponderse con especies con alto reclutamiento, tolerantes a la sombra y/o bajo crecimiento (Wright et al. 2003, Kohyama et al. 2015). Muchas de ellas presentan frutos carnosos de pequeño tamaño dispersados por vertebrados generalistas. *S. granulosum-leprosum* y *H. apiculata* resultaron semejantes a las pioneras pero con menor abundancia de individuos de la clase 1 en rodales jóvenes y maduros, siendo abundantes en rodales intermedios probablemente relacionados a las aplicaciones reciente de raleo en los mismos. . Estas especies fueron clasificadas como pioneras ya que su establecimiento en los rodales jóvenes correspondería a edades inferiores a las muestreadas (6 años) probablemente en

condiciones de baja cobertura del dosel de pino. Estas especies presentaron sus máximas abundancias de renovales pequeños (clase 1) en los rodales intermedios en los que se hallaron aplicaciones recientes de tratamientos de raleo.

### **Estructura y regeneración de árboles en los remanentes de bosque nativo**

En los remanentes de bosque nativo la riqueza de especies en las clases de tamaño 1 y 2 fue mayor que en el sotobosque de las plantaciones tal como lo indicado en otros trabajos que compararon bosques nativos y plantaciones (Dummel y Pinazo 2013, Giorgis et al. 2005). Sin embargo, la relación fue inversa en la clase de mayor tamaño. Gran parte de los remanentes de bosque nativo relevados presentaron área basal menor de  $15 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  y escasos individuos que superaron los 35 cm de DAP, estos valores indican que poseen un nivel de degradación importante, pero contribuyen como fuentes de semillas hacia las plantaciones (Koh et al. 2015). Gran parte de las especies presentes en el bosque nativo y ausentes o muy escasas en las plantaciones son árboles del subdosel de los bosques maduros (e.g. *T. catigua*, *S. bomplandii* y *P. pennatifolius*) que en estado adulto pocas veces superan un DAP de 10 cm (obs. personal). A excepción de estas especies, la mayor parte de los árboles de la Selva Paranaense fueron hallados en las plantaciones. Para las clases de renovales menores e intermedios la relación entre el número de individuos y el número de especies reflejada en las curvas de rarefacción indicaron valores de diversidad similares en las plantaciones y el bosque nativo. Esta relación indicó que en la clase 3 en las plantaciones tiende a haber algo más de dominancia que en el bosque nativo. Las mismas curvas analizadas sobre la base del área muestreada indicaron que debido a diferencias de abundancia de individuos, en las

plantaciones se requieren áreas mayores para alcanzar riquezas semejantes a las del bosque nativo. Estas curvas de rarefacción en las plantaciones diferenciando a los rodales por la proporción de bosque nativo en el entorno indicaron la importancia de retener un valor mínimo de 20 % de cobertura de esos remanentes a nivel del paisaje.

## **CONCLUSIONES**

La riqueza de renovales menores aumenta con la proporción de bosque nativo en el entorno y resulta menor en los rodales provenientes de uso previo agrícola que los provenientes de bosque nativo o forestal.

En rodales con mayor proporción de bosque nativo en el entorno, o uso previo forestal o bosque nativo, se registró mayor frecuencia de especies propias del dosel y subdosel del Bosque Atlántico que en aquellos con baja proporción de bosque nativo en el entorno o uso previo agrícola.

La riqueza y densidad de los renovales intermedios y mayores aumentó con la edad y disminuyó con el área basal de los rodales.

En las plantaciones se registró la mayor parte de las especies halladas en los fragmentos de bosque nativo del entorno.

# **CAPÍTULO 3**

---

**EFFECTOS DE LAS VARIABLES DEL RODAL Y USO PREVIO  
SOBRE EL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES NATIVOS EN EL  
SOTOBOSQUE DE PLANTACIONES DE *Pinus taeda* L. EN  
EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA**

# **EFFECTOS DE LAS VARIABLES DEL RODAL Y USO PREVIO SOBRE EL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES NATIVOS EN EL SOTOBOSQUE DE PLANTACIONES DE *Pinus taeda* L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA**

## **INTRODUCCIÓN**

La tasa de crecimiento de las especies arbóreas puede estar asociada con la calidad del sitio, con las características morfológicas y fisiológicas así como con diferentes historias de vida. Las especies que requieren de alta disponibilidad de luz para establecerse y crecer suelen presentar mayores tasas de crecimiento que las tolerantes a la sombra, que pueden germinar, crecer y establecerse con niveles muy bajos de luz (Whitmore 1996, Campanello et al. 2011). Además, el crecimiento y supervivencia de árboles se encuentra relacionado con la estructura vertical, horizontal y la distribución espacial que determina diferentes niveles de intercepción de la luz (Kohyama et al. 2015). La disponibilidad de luz a nivel del suelo de la plantación se encuentra condicionada por la aplicación de raleos, rodales con aplicaciones de raleos intensos y frecuentes favorecen el ingreso de luz y por lo tanto el establecimiento de especies más demandantes de este recurso así como el crecimiento y supervivencia de la mayoría de las especies (Villagra 2012, Trentini et al. 2017). El raleo representa un tratamiento silvícola frecuente en las plantaciones de *Pinus taeda* de Misiones y la reducción del área basal producida se asocia con mayor riqueza de los renovales de árboles nativos (Capítulo 2).

Además de las características estructurales, las características edáficas y la historia de uso del suelo afectan las tasa de crecimiento de árboles nativos (Holz et al. 2009). La historia de uso del suelo determina la calidad del suelo, sitios provenientes de agricultura presentan mayor compactación a nivel superficial y menor contenido de nutrientes, mientras que las plantaciones forestales establecidas sobre suelos agrícolas mejoran las condiciones edáficas (Islam y Weil 2000, Guo y Guifford 2002). La regeneración en sitios productivos abandonados en el norte de Misiones fue diferente en sitios cuya cobertura previa había sido bosque nativo respecto de los provenientes de un intenso uso agrícola, que representan condiciones menos favorables para el crecimiento (Holz 2007).

Los factores que afectan el crecimiento de los renovales de árboles nativos en las plantaciones resultan relevantes para entender sus patrones de riqueza y abundancia ya que el crecimiento individual de las especies arbóreas, en sus primeras etapas de vida, afecta los procesos poblacionales (Condit et al. 1998). Kohyama et al. (2015) encontraron que las especies con baja abundancia en etapas juveniles son las que presentan mayor tasa de crecimiento y menor mortalidad. Esa relación además se corresponde con diferentes historias de vida (Wright et al. 2003). La alta densidad de individuos en las clases de menor tamaño suele observarse en especies tolerantes a la sombra de bajo crecimiento, mientras que en las demandantes de luz y mayor crecimiento, suele observarse mayor densidad en las clases de tamaños intermedios o mayores (Wright et al. 2003). En consecuencia resulta esperable que las diferencias entre especies en sus tasas de crecimiento y su respuesta frente a diferentes condiciones estructurales, que afectan la

disponibilidad de luz y otros recursos, determinen diferencias en el desarrollo de la regeneración de árboles nativos en las plantaciones.

El crecimiento de árboles nativos que regeneran en las plantaciones no fue estudiado en Misiones, mientras que, para bosques nativos existen pocos estudios de crecimiento y en su mayoría consideran individuos con tamaño mayor a 10 cm de DAP (e.g. Riegelhaupt et al. 2009) y muy pocos han estudiado el crecimiento en individuos con DAP menor a 10 cm en algunas especies en el bosque nativo (e.g. Campanello 2004, Bacalini et al. 2009, Villagra et al. 2013, Montti et al. 2014) y generalmente relacionados a algún tratamiento silvícola. Además, existen trabajos que analizaron el crecimiento de especies nativas cultivadas en ambientes distintos al bosque nativo (e.g. Crechi et al. 2010). En este capítulo se analizó la relación entre el crecimiento diamétrico de las especies y las características de los rodales con la finalidad de evaluar tendencias de respuesta a cambios estructurales relacionados con la edad de la plantación y el manejo.

## **HIPÓTESIS**

1. Los cambios estructurales de los rodales, asociados con su edad de plantación y la aplicación de raleos, determinan diferencias en la disponibilidad de radiación que afectan el crecimiento de los árboles nativos establecidos espontáneamente. El crecimiento es mayor en rodales con menor área basal y mayor disponibilidad de radiación.
2. Debido a que existen diferencias entre especies, en la respuesta a los cambios en la disponibilidad de recursos, la relación entre el crecimiento y las características de los rodales no será la misma para todas las especies. Las especies más

demandantes de radiación presentan una respuesta positiva con el aumento en la disponibilidad de ese recurso mientras que en las especies tolerantes a la sombra presentan una respuesta de menor magnitud o nula.

3. El crecimiento de los árboles nativos establecidos en las plantaciones depende del uso del suelo previo a la plantación. El crecimiento será menor en aquellos rodales que presentaron uso agrícola que en las establecidas sobre tierras ocupadas por bosque nativo.

4. La distribución de la abundancia por clases de tamaño se relaciona con las tasas de crecimiento y sobrevivencia, y las diferencias de historia de vida asociadas de las plantas. Las especies de menor crecimiento presentan mayor abundancia en las clases de menor tamaño mientras que las de mayor crecimiento presentan mayores abundancias en las clases de tamaño intermedio o mayor.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Determinar tasas de incremento diamétrico en árboles nativos establecidos en rodales con diferente edad, área basal y uso previo a la plantación.

2. Evaluar la relación entre las tasas de crecimiento y las características de los rodales así como con el uso previo.

3. Evaluar la relación entre las tasas de crecimiento y la distribución de la densidad por clases de tamaño de las especies.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios de muestreo

Sobre la base de datos de los 35 sitios de muestreo del capítulo 2 fueron seleccionados 10 rodales contrastantes en cuanto a edad, densidad y uso previo (Tabla 3.1) con el objetivo de evaluar diferencias en crecimiento en distintas condiciones de manejo.

Tabla 3.1. Variables estructurales, uso previo y bosque nativo en el entorno de las plantaciones de *Pinus taeda* en el N de Misiones, Argentina seleccionadas para medir crecimiento de renovales. Edad: Edad del rodal (años). AB: Área basal de la plantación ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ). DP: Densidad de pinos ( $\text{individuos} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). UP: Uso del suelo previo a la plantación. B. nativo: Bosque nativo en el entorno en un radio de 300 metros (%). AD: Abertura del dosel (%).

Rodal	Edad	AB	DP	UP	BN	AD
Nat19	19	28.2	467	B. nativo	19	25.3
For6a	6	22.4	517	Forestal	0	23.6
For10	10	22.5	533	Forestal	5	15.6
Agr30	30	28.7	550	Agrícola	24	18.4
Nat35a	35	30.9	575	B. nativo	24	19.3
For7	7	19.7	608	Forestal	44	19.6
Agr11b	11	33.9	658	Agrícola	43	30
For17	17	29.1	708	Forestal	30	18.7
Agr10b	10	34.2	1150	Agrícola	42	13.3
Nat6	6	36.8	1567	B. nativo	31	9.5

### Especies seleccionadas

Los resultados del capítulo 2 permitieron conocer las especies arbóreas que regeneraban en las plantaciones. A partir de las 114 especies registradas se realizó una selección de las más frecuentes, abundantes y su importancia maderera (Riegelhaupt et al. 2009) o como proveedora de frutos consumidos por la fauna (Das

Chagas e Silva y Soarea-Silva 2000, Carvalho 2003). La medición del crecimiento diamétrico se realizó sobre individuos marcados con una sola remediación al cabo de dos años. En cada rodal se estableció un número máximo de 5 individuos por especie y por clase de tamaño manteniendo una distancia mayor a 5 metros entre individuos de la misma especie y clase de tamaño. También se estableció un valor mínimo de 50 y máximo de 100 individuos a ser marcados en total en cada rodal (Figura 3.1). Cada individuo fue identificado con una chapa de aluminio fijada mediante un clavo o alambre según el diámetro del tallo. Se registró la ubicación geográfica mediante posicionador global (GPS). En los individuos de la clase de tamaño 1 se midió el diámetro mayor a los 50 cm de altura desde el nivel del suelo utilizando un calibre. La medición a esa altura evitó deformaciones frecuentes del tronco cerca de la base. En los individuos correspondientes a las clase 2 y 3 se registró el DAP con calibre si medían menos de 5 cm y con cinta diamétrica si eran de mayor tamaño. Luego de dos años fueron remedidos todos los individuos utilizando el mismo procedimiento.

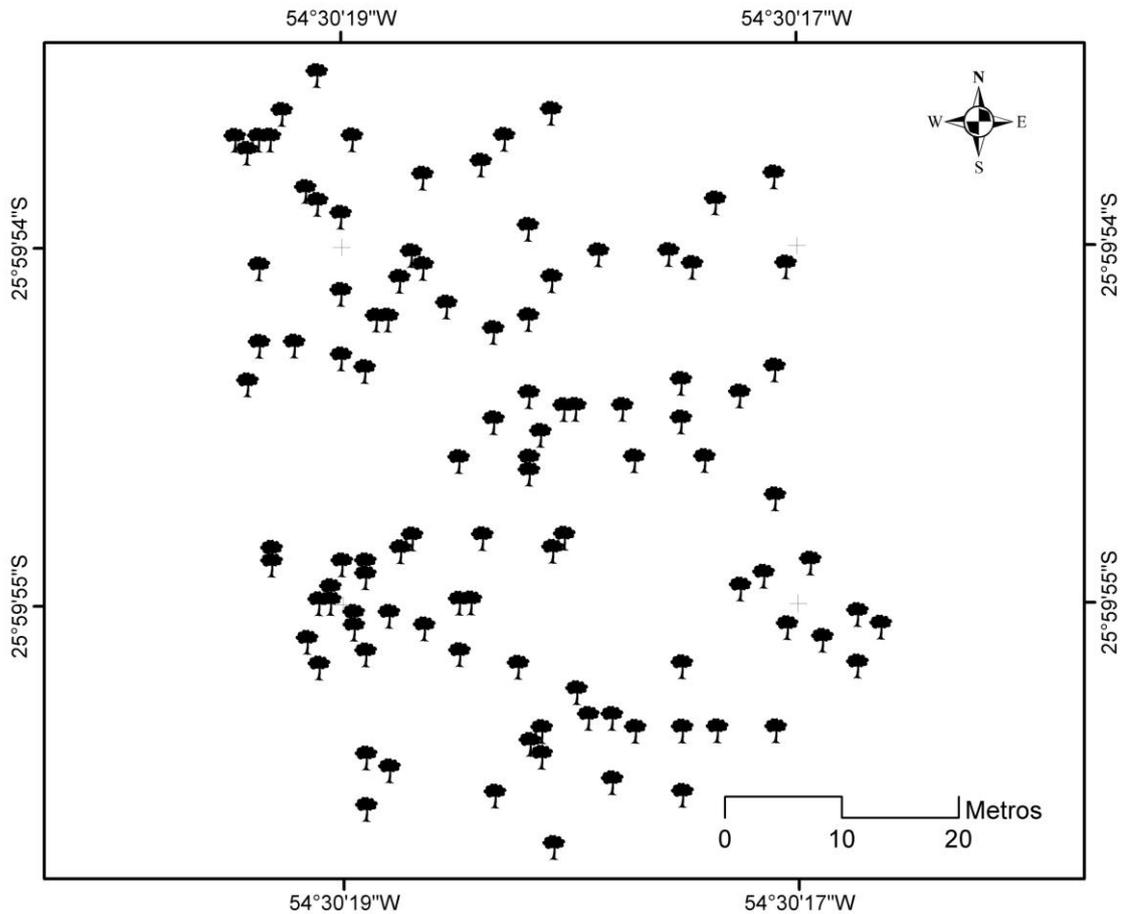


Figura 3.1. Representación gráfica de la distribución espacial de renovales identificados para medir crecimiento en el rodal de *Pinus taeda* Agr30 en el Norte de Misiones, Argentina. Cada árbol representado en el mapa corresponde a un renewal marcado sobre el cual se midió crecimiento.

### Análisis de datos

Se llevó a cabo un análisis descriptivo presentando los valores de crecimiento por especie en gráficos de caja. Mediante un análisis de componentes principales se ordenaron los rodales sobre la base de sus diferencias en área basal, edad y porcentaje de abertura del dosel determinado mediante fotografías hemisféricas cuyo procedimiento de obtención fue descrito en el Capítulo 2. Los ejes obtenidos mediante este análisis representaron variables sintéticas de las diferencias entre rodales y fueron correlacionados con el incremento diamétrico de las especies. Para

cada especie se analizó una correlación de Pearson con la finalidad de detectar la existencia de relaciones lineales entre el diámetro y el incremento periódico anual en diámetro (IPA) expresado en  $\text{cm.año}^{-1}$ . La existencia de tal relación permitió evaluar si las diferencias de IPA absoluto podrían estar influenciadas por diferencias de tamaño entre plantas y remover ese efecto mediante el IPA relativo (IPA/diámetro inicial). Se calculó el IPA de cada especie en las que se pudieron remedir al menos 10 individuos teniendo en cuenta todos los rodales, el IPA medio de cada rodal fue calculado con los IPA de las especies que estuvieron presentes en por lo menos 5 rodales. Se evaluó la correlación entre los IPA absolutos y relativos con los ejes del ordenamiento de los rodales con la finalidad de detectar diferencias entre especies en cuanto a la relación entre su crecimiento y las características de la plantación sólo para las especies que se remidieron en al menos 5 rodales. Se utilizó una correlación por rangos de Spearman por resultar robusta a alejamientos de la linealidad de la relación. Las diferencias de crecimiento en relación con el uso previo se llevaron a cabo mediante un análisis de varianza del IPA medio a nivel del rodal sobre una variable categórica con tres estados: agrícola, forestal y bosque nativo. Se utilizó como covariable al eje de componentes principales con el cual el IPA resultó significativo con la finalidad de controlar las diferencias de IPA debidas a diferencias en las características del rodal.

Se evaluó si la tasa de crecimiento de las especies analizadas estuvo asociada con las diferencias entre ellas en términos de abundancia en cada clase de tamaño (Capítulo 2). Con esa finalidad se aplicó la prueba de Mantel para estimar la asociación entre una matriz de distancia basada en las diferencias de incremento periódico anual y otra matriz de distancia calculada a partir de la abundancia, en

individuos por hectárea, en cada clase de tamaño. En ambos casos se utilizó la distancia euclidiana. Las abundancias fueron transformadas a raíz cuadrada con la finalidad de evitar que los valores muy elevados, observados en la clase menor para algunas especies, dominaran los resultados del análisis. Este análisis se aplicó por separado para los renovales menores y mayores de 1 cm de DAP.

## RESULTADOS

### Crecimiento diamétrico de individuos entre 1 y 10 cm de DAP

En estas clases de tamaño fueron remedidos 380 individuos en total, de los cuales 327 crecieron, 44 no crecieron y 9 estaban muertos. El número de individuos por especies varió entre 1 y 25, como así también el número de sitios en el que se encontraban las especies varió entre 1 y 8 (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Número de individuos por sitio y especie medida en el año 2015 para determinar el crecimiento de los renovales de árboles nativos con tamaño superior a 1 cm de DAP (clases de tamaño 2 y 3) en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. N° IND: número total de individuos medidos en todos los rodales (sitios). N° SITIOS: número de rodales en los que estuvo presente la especie.

Especies	Sitios										N° IND	N° SITIOS
	Agr10 b	Nat t 19	Agr11 b	Nat35 a	For6 a	For1 7	For1 0	For 7	Nat 6	Agr3 0		
<i>Cabrlea canjerana</i>	4	1	3	4	1	4	2	0	0	6	25	8
<i>Cecropia pachystachya</i>	2	1	1	1	2	4	5	0	0	5	21	8
<i>Cedrela fissilis</i>	7	3	2	0	0	9	4	4	0	2	31	7
<i>Allophyllus edulis</i>	0	3	0	6	1	1	0	2	0	2	15	6

Tabla 3.2. Continuación...

Especies	Sitios										N° IND	N° SITIOS	
	Agr 10b	Na t 19	Agr11 b	Nat35 a	For6 a	For1 7	For1 0	For 7	Nat 6	Agr3 0			
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	1		2	1	1	0	1	1	0	0	0	7	6
<i>Cordia americana</i>	2		5	0	1	0	0	2	2	0	3	15	6
<i>Cupania vernalis</i>	0		7	0	6	1	0	1	2	0	6	23	6
<i>Machaerium paraguariense</i>	1		1	0	1	1	1	1	0	0	0	6	6
<i>Machaerium stipitatum</i>	2		5	0	2	0	1	1	0	0	1	12	6
<i>Myrocarpus frondosus</i>	3		2	0	0	1	0	2	1	0	1	10	6
<i>Ruprechtia laxiflora</i>	4		1	0	1	1	1	0	1	0	0	9	6
<i>Cordia ecalyculata</i>	1		2	1	0	2	2	0	0	0	0	8	5
<i>Ilex paraguariensis</i>	1		0	0	2	0	4	1	0	0	3	11	5
<i>Lonchocarpus campestris</i>	2		0	0	1	2	0	1	1	0	0	7	5
<i>Maclura tinctoria</i>	1		1	0	2	0	1	0	0	0	3	8	5
<i>Matayba eleagnoides</i>	0		2	0	3	0	0	1	2	0	1	9	5
<i>Parapiptadenia rigida</i>	0		3	0	5	0	1	0	3	0	2	14	5
<i>Albizia niopoides</i>	1		0	0	0	0	2	0	1	0	2	6	4
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	0		3	0	2	0	1	2	0	0	0	8	4
<i>Cordia trichotoma</i>	0		1	0	1	0	2	0	1	0	0	5	4
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	2		0	1	3	0	0	2	0	0	0	8	4
<i>Ocotea puberula</i>	1		0	0	0	2	0	3	0	0	1	7	4
<i>Prunus brasiliensis</i>	2		0	1	2	0	2	0	0	0	0	7	4
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	1		0	0	0	2	1	0	0	0	4	8	4
<i>Trema micrantha</i>	0		0	0	0	0	1	1	0	1	2	5	4
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	1		2	0	0	0	2	0	0	0	0	5	3
<i>Helietta apiculata</i>	0		2	0	4	0	0	0	0	0	4	10	3
<i>Holocalix balansae</i>	0		0	0	6	0	0	2	0	0	3	11	3

Tabla 3.2. Continuación.

Especies	Sitios										N° IND	N° SITIOS	
	Ag r10 b	Na t 19	Agr11 b	Nat35 a	For6 a	For1 7	For1 0	For 7	Nat 6	Agr3 0			
<i>Nectandra lanceolata</i>		3	0	0	0	0	4	0	0	0	8	15	3
<i>Nectandra megapotamica</i>		0	3	0	9	0	0	0	0	0	2	14	3
<i>Peltophorum dubium</i>		1	0	0	0	0	0	3	0	0	1	5	3
<i>Araucaria angustifolia</i>		0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	5	2
<i>Diatenopteryx sorbifolia</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>		1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	6	2
<i>Jacaranda micrantha</i>		0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	2
<i>Luehea divaricata</i>		0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	5	2
<i>Rollinia rugulosa</i>		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2
<i>Acacia polyphylla</i>		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Apuleia leiocarpa</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>Aralia warmingiana</i>		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
<i>Bastardiopsis densiflora</i>		0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
<i>Ocotea pulchella</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1
<i>Picrasma crenata</i>		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Rollinia salicifolia</i>		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Vitex megapotamica</i>		0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1

Las especies tendieron a presentar diferencias en el IPA absoluto, como así también los rangos entre valores mínimos y máximos (Figura 3.2). La especie con mayor IPA medio fue *N. megapotamica*, mientras que *P. rigida* presentó el menor valor. Las mayores diferencias entre valores máximos y mínimos fueron observados

en *C. pachystachya*, *A. edulis*, *C. canjerana* y *C. vernalis*. Otras especies como *L. campestris* y *M. frondosus* presentaron valores menos distantes entre mínimos y máximos.

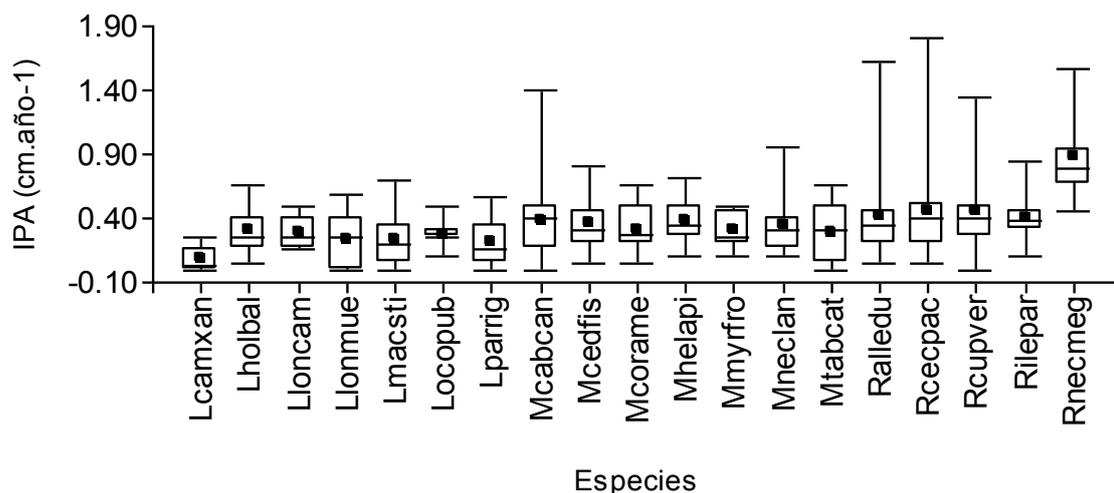


Figura 3.2. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por especie de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas son máximo y mínimo. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 3.3), las letras L, M y R indican crecimiento Lento, Medio y Rapido, respectivamente.

La media de los valores de IPA de las especies varió entre 0.08 y 0.87 cm.año<sup>-1</sup>, estos valores permitieron clasificar a las especies en tres categorías de crecimiento:

1. Crecimiento lento:  $\leq 0.3$  cm.año<sup>-1</sup>,
2. Crecimiento medio:  $> 0.3$  y  $< 0.4$  cm.año<sup>-1</sup>,
3. Crecimiento rapido:  $\geq 0.4$  cm.año<sup>-1</sup> (Tabla 3.3). A pesar de las tendencias halladas las diferencias entre estas categorizaciones no fueron significativas debido a la variabilidad de los resultados por especie (Figura 3.3). En todas las especies se

observó una correlación significativa entre el diámetro y el IPA. Esas correlaciones variaron entre 0,71 y 0,99 ( $p < 0,05$  para todos los casos).

Tabla 3.3. Valores de la media del incremento periódico anual absoluto (IPA) para 19 especies de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina, clasificadas por tipo de crecimiento, Lento: IPA  $\leq 0.3$  cm.año<sup>-1</sup>, Medio: IPA  $> 0.3$  y  $< 0.4$  cm.año<sup>-1</sup>, Rapido: IPA  $\geq 0.4$  cm.año<sup>-1</sup>.

<b>Especie</b>	<b>Códigos</b>	<b>IPA</b>	<b>Crecimiento</b>
<i>Holocalix balansae</i>	Holbal	0.31	Lento
<i>Lonchocarpus muelbergianus</i>	Lonmue	0.24	Lento
<i>Lonchocarpus campestris</i>	Loncam	0.29	Lento
<i>Machaerium stipitatum</i>	Macsti	0.24	Lento
<i>Ocotea puberula</i>	Ocopub	0.27	Lento
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Parrig	0.21	Lento
<i>Campomanesia xanthocapa</i>	Camxan	0.09	Lento
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedfis	0.36	Medio
<i>Cordia americana</i>	corame	0.31	Medio
<i>Myrocarpus frondosus</i>	Myrfro	0.30	Medio
<i>Nectandra lanceolata</i>	Neclan	0.35	Medio
<i>Cabralea canjerana</i>	Cabcan	0.38	Medio
<i>Helietta apiculata</i>	Helapi	0.38	Medio
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	Tabcat	0.30	Medio
<i>Allophylus edulis</i>	Alledu	0.43	Rapido
<i>Cecropia pachystachya</i>	Cecpac	0.46	Rapido
<i>Cupania vernalis</i>	Cupver	0.45	Rapido
<i>Ilex paraguariensis</i>	Ilepar	0.40	Rapido
<i>Nectandra megapotamica</i>	Necmeg	0.88	Rapido

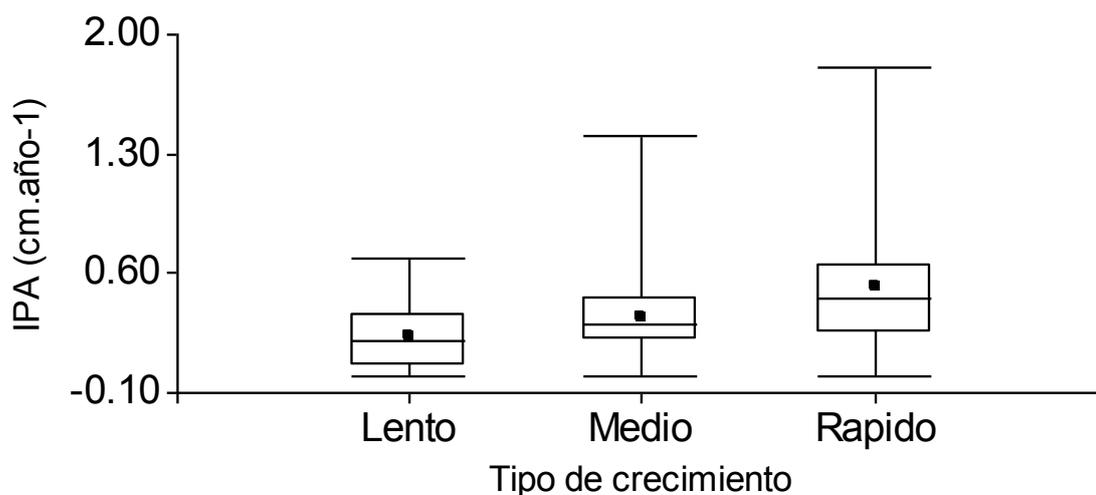


Figura 3.3. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por tipo de crecimiento (Lento:  $\text{IPA} \leq 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$ , Medio:  $\text{IPA} > 0.3$  y  $< 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ , Rapido:  $\text{IPA} \geq 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ ) de los renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en plantaciones de *Pinus taeda* en el N de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas indican el valor máximo y mínimo.

Las características a nivel de rodal (edad, área basal y porcentaje de abertura de dosel) no presentaron relaciones con el crecimiento de manera independiente, pero su relación se puso de manifiesto mediante el análisis de componentes principales (Figura 3.4). El eje 1 representó un gradiente de edad y área basal en el que ambas variables aumentaron desde el extremo negativo hacia el positivo. El eje 2 representó principalmente una variación en el porcentaje de abertura de dosel aunque en alguna medida la variación a lo largo de este eje también involucró una variación en área basal. El porcentaje de abertura de dosel aumentó hacia el extremo negativo con una tendencia de disminución del área basal. Dado que la edad estuvo asociada claramente al eje 1, la diferenciación en el eje 2 representó

diferencias de cobertura y área basal observables entre rodales de edad similar y probablemente relacionadas con la aplicación de raleos.

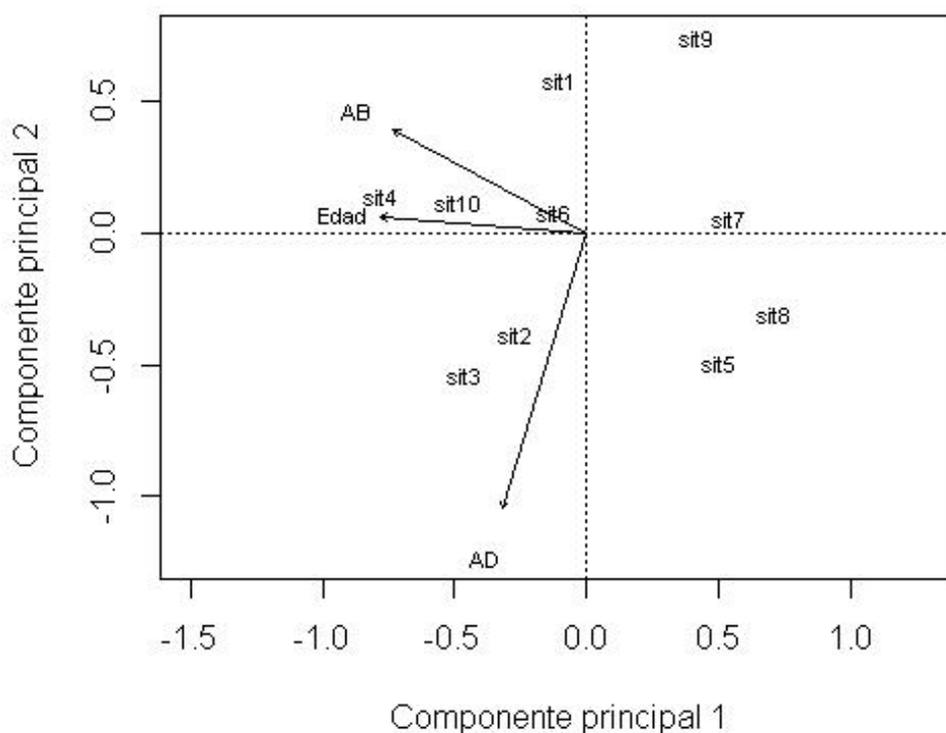


Figura 3.4. Variables estructurales de los rodales de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina en los dos primeros ejes del análisis de componentes principales. AB: área basal de la plantación. Edad: edad de la plantación. AD: abertura del dosel. Sit1 a sit10 corresponde a los 10 rodales.

Se observó mayor relación entre el IPA absoluto promedio de los rodales y la componente principal 2. ( $R=-0.725$ ,  $p<0.05$ ), que con la componente principal 1 ( $R=0.215$ ,  $p>0.1$ ). Estos coeficientes indicaron que el incremento en diámetro tendió a aumentar con el incremento del porcentaje de abertura de dosel independientemente de la edad de la plantación. Ese gradiente estuvo parcialmente asociado a una disminución del área basal de los rodales (Figura 3.5).

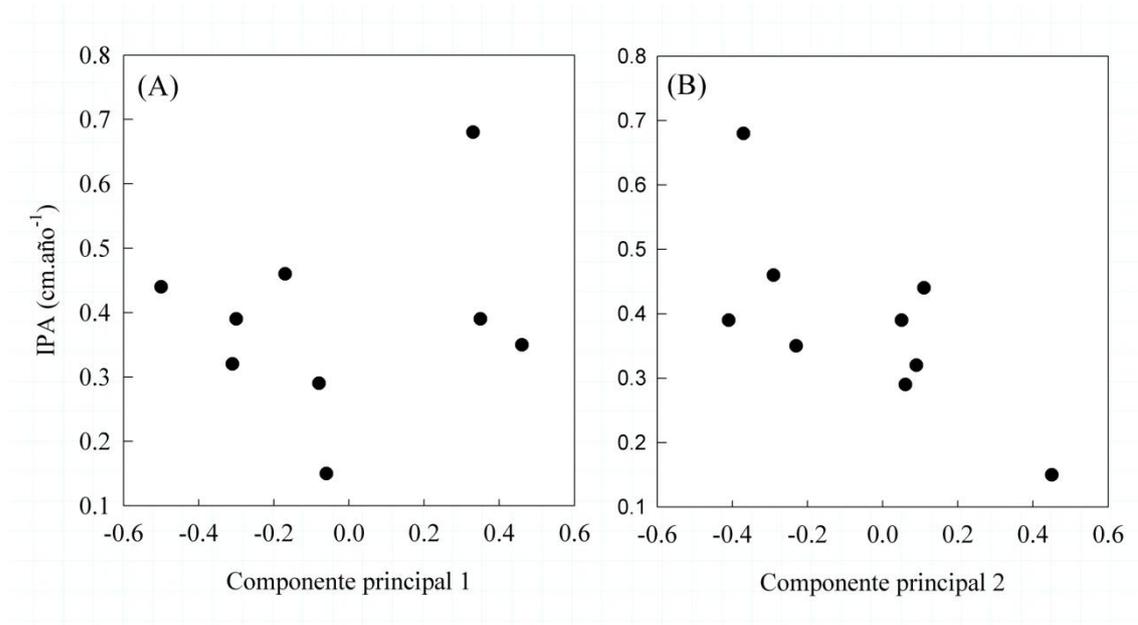


Figura 3.5. Relación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 con la componente principal 1(A) y componente principal 2 (B) en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina.

Las especies de crecimiento rápido, con tendencia a presentar un IPA mayor que el IPA medio del rodal fueron *C. pachystachya*, *C. canjerana*, *A. edulis*, *C. vernalis*, *H. apiculata*, *I. paraguariensis* y *N. megapotamica* (Figura 3.6).

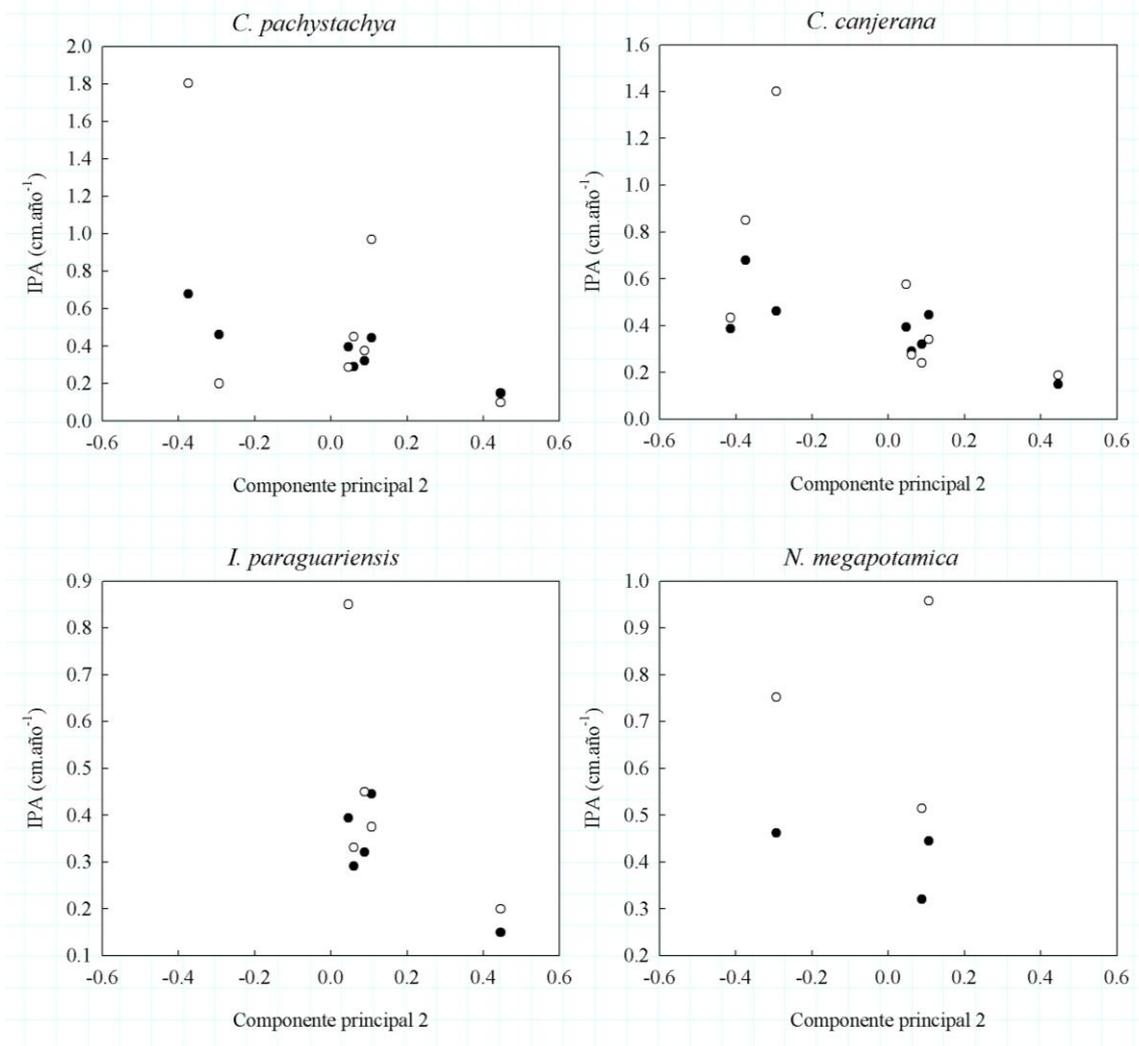


Figura 3.6. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA superior al IPA del rodal en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal.

Las especies de crecimiento medio con IPA similar a la media del rodal fueron *T. catharinensis*, *N. lanceolata*, *M. frondosus*, *C. americana* y *C. fissilis* (Figura 3.7).

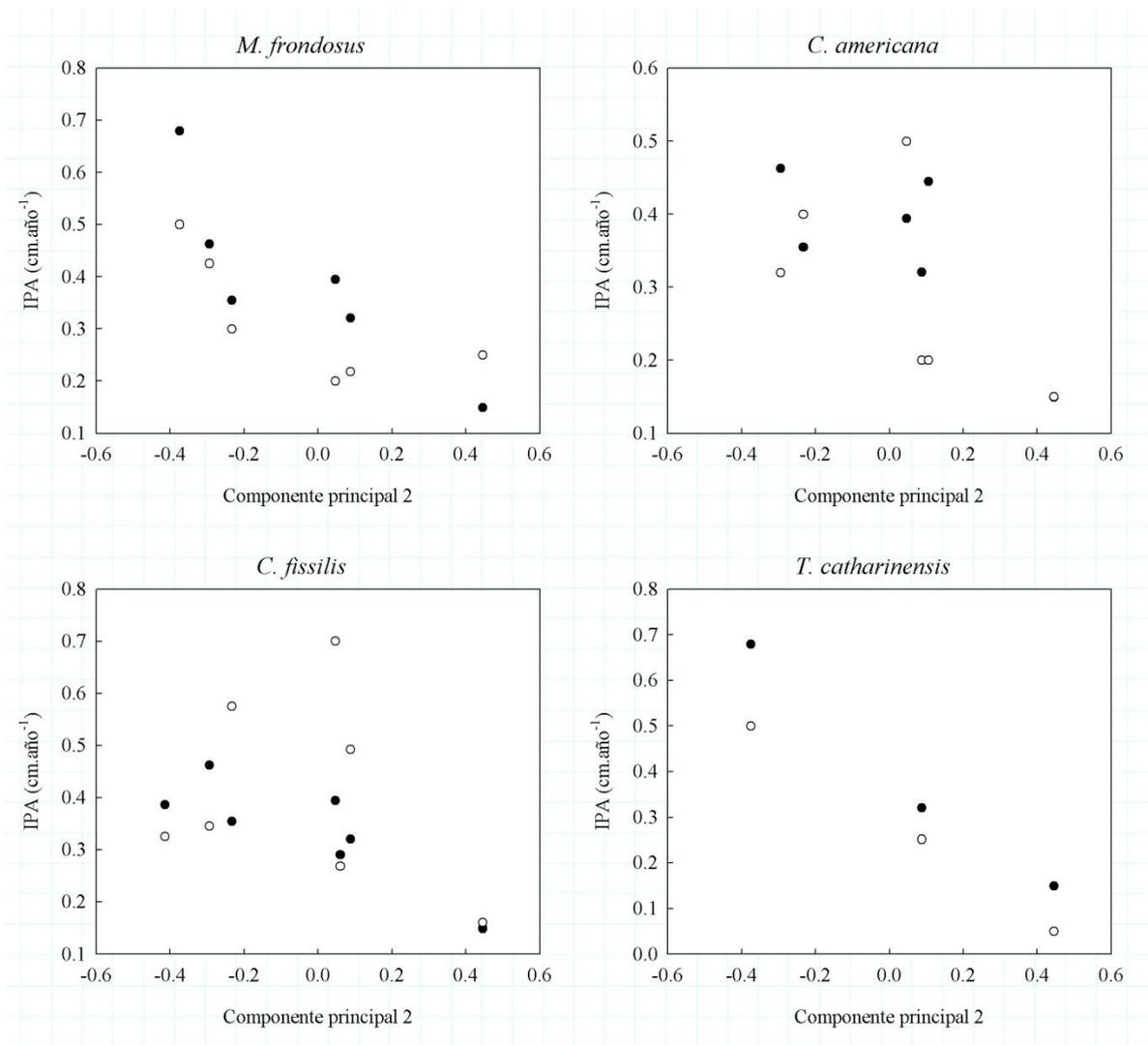


Figura 3.7. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA similar al IPA del rodal en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal.

Las especies de crecimiento rapido con IPA inferior al del rodal fueron *P. rigida*, *C. xanthocarpa*, *O. puberula*, *M. stipitatum*, *L. muehlbergianus* y *H. balansae* (Figura 3.8).

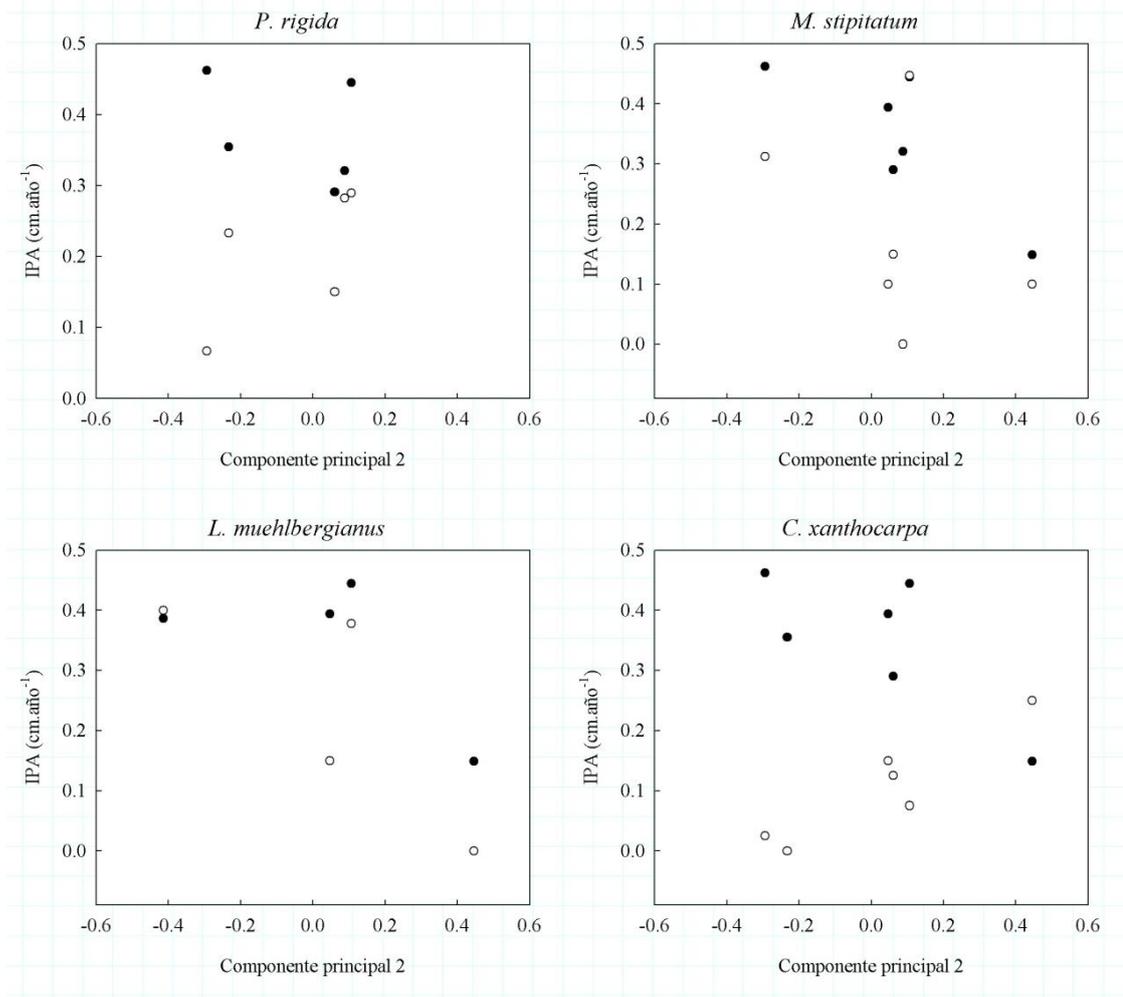


Figura 3.8. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA inferior al IPA del rodal en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal.

Se observaron distintas tendencias entre especies en la relación del IPA con las características de los rodales (Tabla 3.4). En *C. canjerana*, *C. americana*, *I. paraguariensis*, *L. campestris* y *M. frondosus* se observaron correlaciones negativas con eje 2, indicando que estas especies tienden a presentar mayor crecimiento en rodales con menor área basal y mayor porcentaje de abertura de dosel. Una tendencia contraria se observó para *C. xanthocarpa* y *P. rigida*, estas especies

presentaron correlación positiva del IPA con el eje 2, es decir que tendieron presentar mayor IPA en rodales con mayor área basal y menor porcentaje de abertura de dosel. Al analizar las mismas relaciones pero en crecimiento relativo sólo se observaron tres correlaciones significativas con el eje 2: *C. fissilis* ( $r=-0,79$ ,  $P<0,05$ ), *C. canjerana* ( $r=-0,67$ ,  $P<0,05$ ) y *L. leucanthus* ( $r=-0,80$ ,  $P<0,05$ ). En todos los casos la tendencia fue igual a la observada con el IPA.

Tabla 3.4. Coeficientes de correlación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de cada especie de renoval de las clases de tamaño 2 y 3 con la componente principal 1 (eje 1) y la componente principal 2 (eje 2) en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. ns:  $p > 0.1$ , +:  $p < 0.1$ , \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ .

Especie	eje 1	eje 2
<i>Allophyllus edulis</i>	-0.714 +	0.428 ns
<i>Cabralea canjerana</i>	0.214 ns	-0.762 *
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.369 ns	0.738 +
<i>Cecropia pachystachya</i>	-0.143 ns	-0.321 ns
<i>Cedrela fissilis</i>	0.286 ns	-0.286 ns
<i>Cordia americana</i>	0.58 ns	-0.754 *
<i>Cupania vernalis</i>	-0.5 ns	-0.2 ns
<i>Ilex paraguariensis</i>	0.1 ns	-0.7 +
<i>Lonchocarpus campestris</i>	0.9 *	-0.8 +
<i>Machaerium paraguariense</i>	0.028 ns	0.371 ns
<i>Machaerium stipitatum</i>	-0.9 *	0.2 ns
<i>Myrocarpus frondosus</i>	0.028 ns	-0.771 +
<i>Parapiptademia rigida</i>	-0.5 ns	0.8 +

El análisis de las diferencias de uso previo sobre el crecimiento, utilizando el eje 2 del análisis de componentes principales como covariable, indicó que las diferencias de IPA debidas a diferentes usos previos no resultaron significativas. Gráficamente, los resultados de este análisis se evidencian como los alejamientos del IPA medio de cada rodal respecto del valor esperado a partir de sus características sintetizadas por el eje 2 (Figura 3.9). Esos alejamientos tendieron a reflejar menor IPA que el esperado para los rodales con uso previo agrícola.

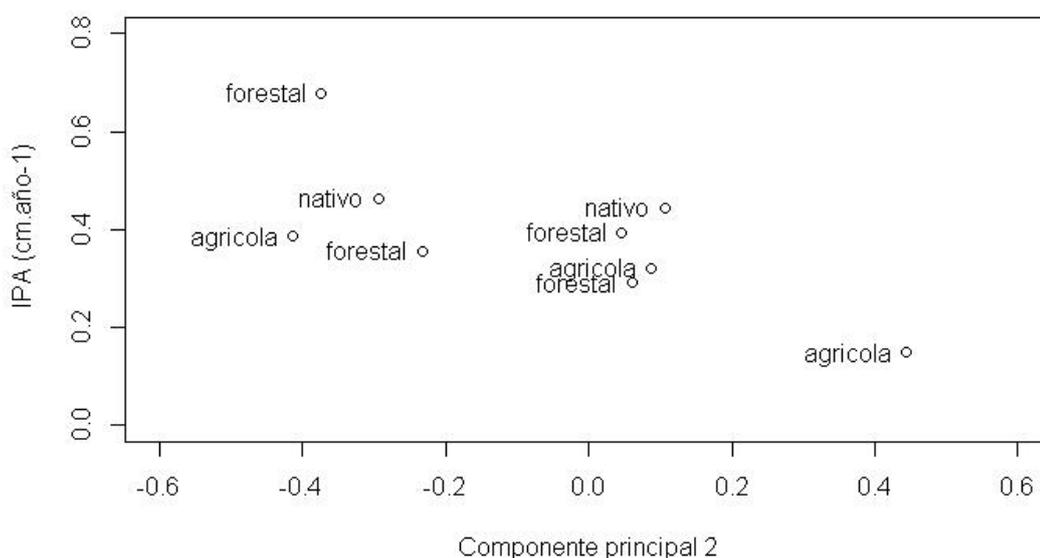


Figura 3.9. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de las clases de tamaño 2 y 3 en función de la componente principal 2 clasificadas por tipo de uso previo a la plantación, en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina.

### **Crecimiento diamétrico de individuos desde 50 cm de altura hasta 1 cm de DAP**

En esta clase de tamaño fueron remedidos 261 individuos en total, de los cuales 232 crecieron, 22 no crecieron y 7 estaban muertos. El número de individuos por especies varió entre 1 y 20, como así también el número de sitios en el que se

encontraban las especies varió entre 1 y 9 (Tabla 3.5). En los análisis fueron incluidas todas las especies que estuvieron presentes en por lo menos 5 rodales.

Tabla 3.5. Número de individuos por sitio y especie medida en el año 2015 para determinar el crecimiento de los renovales de árboles nativos con tamaño inferior a 1 cm de DAP (clase de tamaño 1) en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. N° IND: número total de individuos medidos en todos los rodales (sitios). N° SITIOS: número de rodales en los que estuvo presente la especie.

Especie	Sitios										N° IND	N° SITIOS
	Agr1 0b	Nat 19	Agr1 1b	Nat3 5a	For 6a	For 17	For 10	Fo r7	Na t6	Agr 30		
<i>Nectandra lanceolata</i>	4	0	4	3	0	4	0	2	3	0	20	6
<i>Cordia americana</i>	3	3	0	1	0	3	2	4	0	1	17	7
<i>Cupania vernalis</i>	1	1	2	6	0	0	1	1	2	2	16	8
<i>Cabralea canjerana</i>	3	0	0	3	1	3	0	0	1	4	15	6
<i>Holocalix balansae</i>	2	1	1	2	0	2	1	3	1	2	15	9
<i>Cedrela fissilis</i>	3	1	1	0	0	0	1	2	5	0	13	6
<i>Matayba eleagnoides</i>	3	0	0	2	2	1	0	0	1	2	11	6
<i>Machaerium paraguariense</i>	2	0	1	0	0	1	0	3	3	0	10	5
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	0	0	2	3	0	2	0	0	2	0	9	4
<i>Albizia niopoides</i>	1	0	0	0	0	2	1	1	1	2	8	6
<i>Allophyllus edulis</i>	1	0	1	3	0	0	0	1	1	1	8	6
<i>Lonchocarpus muelbergianus</i>	1	0	1	2	0	0	0	1	3	0	8	5
<i>Parapiptadenia rigida</i>	3	0	1	0	1	2	0	1	0	0	8	5
<i>Nectandra megapotamica</i>	1	0	1	1	0	2	0	1	0	0	6	5
<i>Ocotea puberula</i>	1	0	0	1	0	0	0	4	0	0	6	3
<i>Helietta apiculata</i>	0	0	0	2	0	0	0	1	2	0	5	3
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4	4
<i>Jacaranda micrantha</i>	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	2
<i>Maclura tinctoria</i>	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	1
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	4	4
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	2
<i>Cecropia pachystachya</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1
<i>Cordia trichotoma</i>	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	2
<i>Diatenopteryx sorbifolia</i>	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	3	2
<i>Eugenia uniflora</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	1

Tabla 3.5. Continuación.

Especie	Sitios										N° IND	N° SITIOS
	Agr1 0b	Nat 19	Agr1 1b	Nat3 5a	For 6a	For 17	For 10	For 7	Nat 6	Agr3 0		
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	0		0 0	0	0	0	0	0	3	0	3	1
<i>Myrocarpus frondosus</i>	1		0 0	0	0	0	1	0	1	0	3	3
<i>Peltophorum dubium</i>	1		0 0	0	0	1	1	0	0	0	3	3
<i>Prunus brasiliensis</i>	2		0 0	0	0	1	0	0	0	0	3	2
<i>Vitex megapotamica</i>	0		1 0	0	0	2	0	0	0	0	3	2
<i>Araucaria angustifolia</i>	2		0 0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
<i>Ilex paraguariensis</i>	2		0 0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
<i>Lonchocarpus campestris</i>	1		0 0	0	0	0	0	1	0	0	2	2
<i>Machaerium stipitatum</i>	0		0 0	0	0	1	0	0	0	1	2	2
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	0		0 0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
<i>Erythrina falcata</i>	0		0 1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Eugenia piryformis</i>	0		0 0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
<i>Lonchocarpus nitidus</i>	0		1 0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Rollinia rugulosa</i>	1		0 0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Ruprechtia laxiflora</i>	0		1 0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0		1 0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Trema micrantha</i>	0		0 0	0	0	0	0	0	1	0	1	1

Los valores de crecimiento diamétrico y su dispersión variaron según la especie considerada. Las especies con mayor crecimiento fueron *C. canjerana*, *C. fissilis*, *H. apiculata*, *M. paraguariense*, *N. lanceolata* y *T. catharinensis*, mientras que, las que presentaron el menor incremento fueron *A. niopoides*, *C. vernalis*, *H. balansae* y *M. stipitatum* (Figura 3.10). Especies como *A. edulis*, *C. canjerana*, *C. fissilis* y *N. lanceolata* presentaron las mayores diferencias entre los valores máximos y mínimos

reflejando una alta variabilidad en su crecimiento. Otras especies como *H. balansae*, *M. stipitatum* y *V. megapotamica* presentaron menor variabilidad.

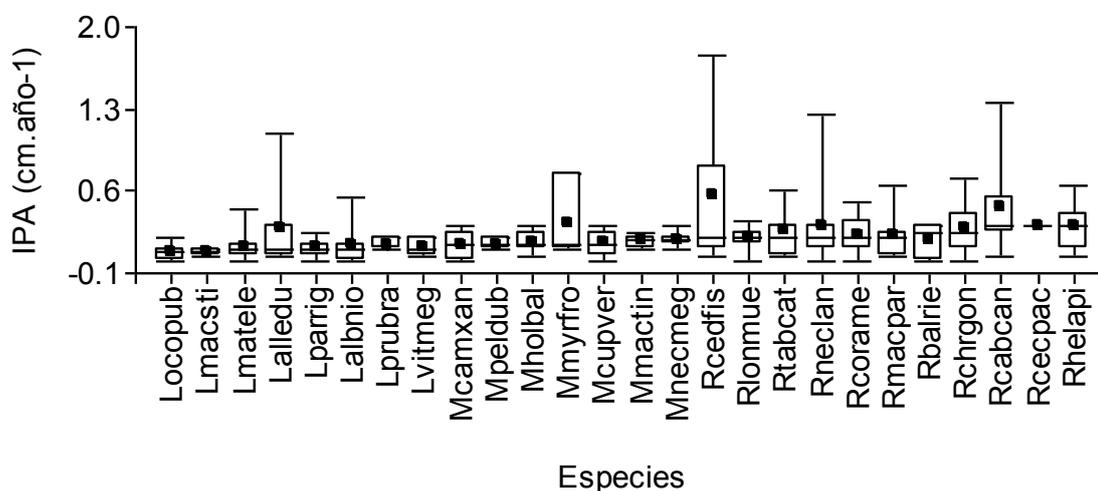


Figura 3.10. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por especie de renovales de la clase de tamaño 1 en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas son máximo y mínimo. Las especies están abreviadas con las tres primeras letras del género y tres primeras letras del epíteto específico (ver Tabla 3.6), las letras L, M y R indican crecimiento Lento, Medio y Rapido, respectivamente.

La media de los valores de IPA de las especies variaron entre 0.075 y 0.56  $\text{cm.año}^{-1}$ , estos valores permitieron clasificar a las especies en tres categorías de crecimiento: crecimiento lento:  $< 0.15 \text{ cm.año}^{-1}$ , crecimiento medio:  $\geq 0.15$  y  $< 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$  y crecimiento rapido:  $\geq 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$  (Tabla 3.6). A pesar de las tendencias halladas las diferencias entre estas categorizaciones no fueron significativas debido a la variabilidad de los resultados por especie (Figura 3.11).

Tabla 3.6. Valores de la media del incremento periódico anual absoluto (IPA) para 26 especies de renovales de la clase de tamaño 1 en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina, clasificadas por tipo de crecimiento, Lento: IPA  $\leq$  0.3 cm.año<sup>-1</sup>, Medio: IPA  $>$  0.3 y  $<$ 0.4 cm.año<sup>-1</sup>, Rapido: IPA  $\geq$  0.4 cm.año<sup>-1</sup>.

Especie	Código	IPA	Crecimiento
<i>Machaerium stipitatum</i>	Macsti	0.08	Lento
<i>Ocotea puberula</i>	Ocopub	0.08	Lento
<i>Albizia niopoides</i>	Albnio	0.14	Lento
<i>Prunus brasiliensis</i>	Prubra	0.13	Lento
<i>Vitex megapotamica</i>	Vitmeg	0.12	Lento
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Parrig	0.11	Lento
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Mátele	0.13	Lento
<i>Cupania vernalis</i>	Cupver	0.15	Medio
<i>Holocalix balansae</i>	Holbal	0.15	Medio
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Camxan	0.15	Medio
<i>Peltophorum dubium</i>	Peldub	0.15	Medio
<i>Nectandra megapotamica</i>	Necmeg	0.18	Medio
<i>Maclura tinctoria</i>	Mactin	0.18	Medio
<i>Cordia americana</i>	Córame	0.21	Medio
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Balrie	0.18	Medio
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	Chrgon	0.28	Medio
<i>Machaerium paraguariense</i>	Macpar	0.22	Medio
<i>Lonchocarpus muelbergianus</i>	Loncam	0.19	Medio
<i>Allophylus edulis</i>	Alledu	0.28	Medio
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	Tabcat	0.26	Medio
<i>Myrocarpus frondosus</i>	Myrfro	0.33	Rapido
<i>Nectandra lanceolata</i>	Neclan	0.3	Rapido
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedfis	0.57	Rapido
<i>Cecropia pachystachya</i>	Cecpac	0.3	Rapido
<i>Helietta apiculata</i>	Helapi	0.3	Rapido
<i>Cabralea canjerana</i>	Cabcan	0.47	Rapido

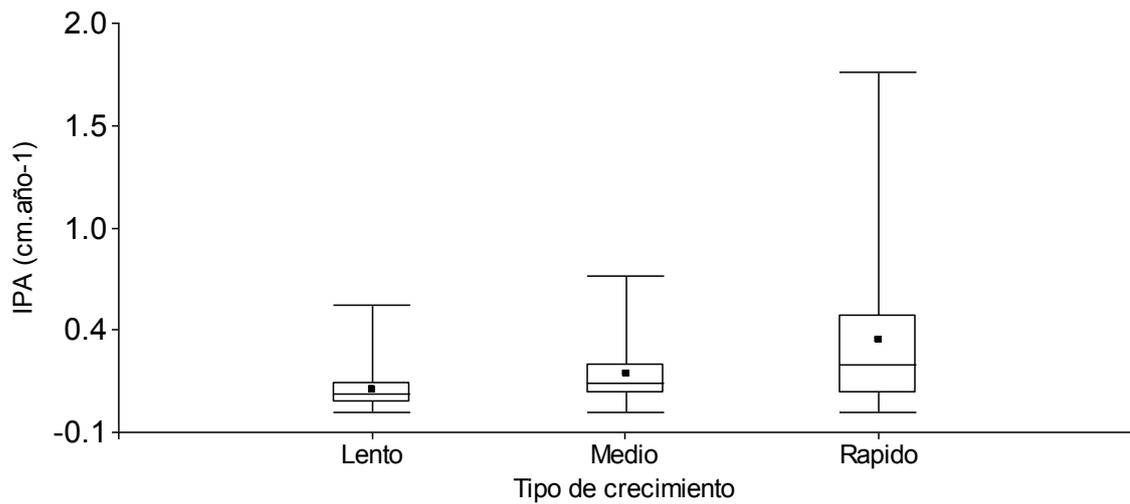


Figura 3.11. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro por tipo de crecimiento (Lento:  $\text{IPA} \leq 0.3 \text{ cm.año}^{-1}$ , Medio:  $\text{IPA} > 0.3 \text{ y } < 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ , Rapido:  $\text{IPA} \geq 0.4 \text{ cm.año}^{-1}$ ) de los renovales de la clase de tamaño 1 en plantaciones de *Pinus taeda* en el N de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas indican el valor máximo y mínimo.

La edad, el área basal y el porcentaje de abertura de dosel de los rodales no presentaron tendencias claras con el IPA medio de los mismos. De los ejes obtenidos en el análisis de componentes principales (Figura 3.4) sólo la componente 2 presentó una débil tendencia de asociación con el IPA medio del rodal ( $R=0.49$ ,  $P<0.1$ ) mientras que con el eje 1 la correlación no fue significativa ( $R=0.29$ ,  $P>0.1$ ) (Figura 3.12).

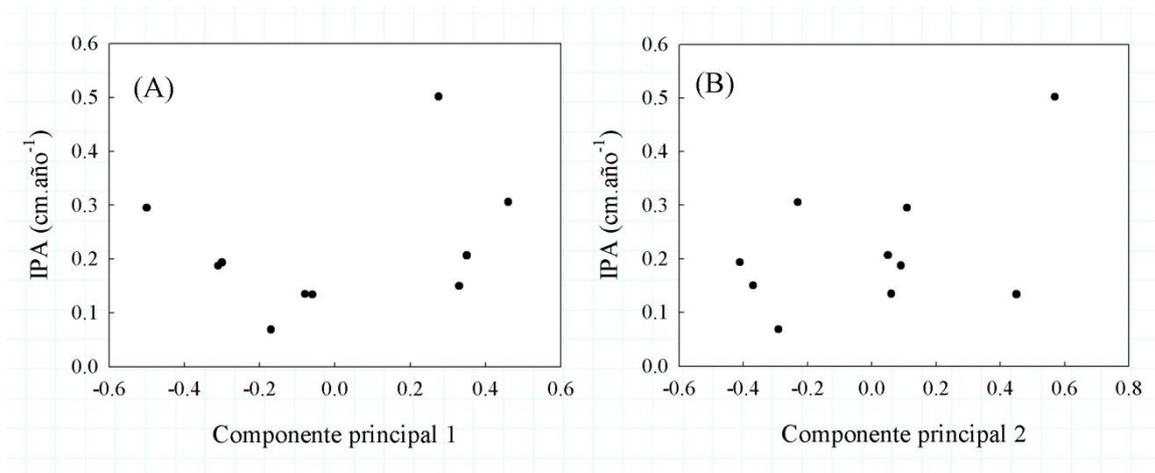


Figura 3.12. Relación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 con la componente principal 1(A) y componente principal 2 (B) en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina.

Las especies de crecimiento rápido, con tendencia a presentar un IPA mayor que el IPA medio del rodal, fueron *C. canjerana*, *C. fissilis*, *N. lanceolata* y *T. catharinensis* (Figura 3.13).

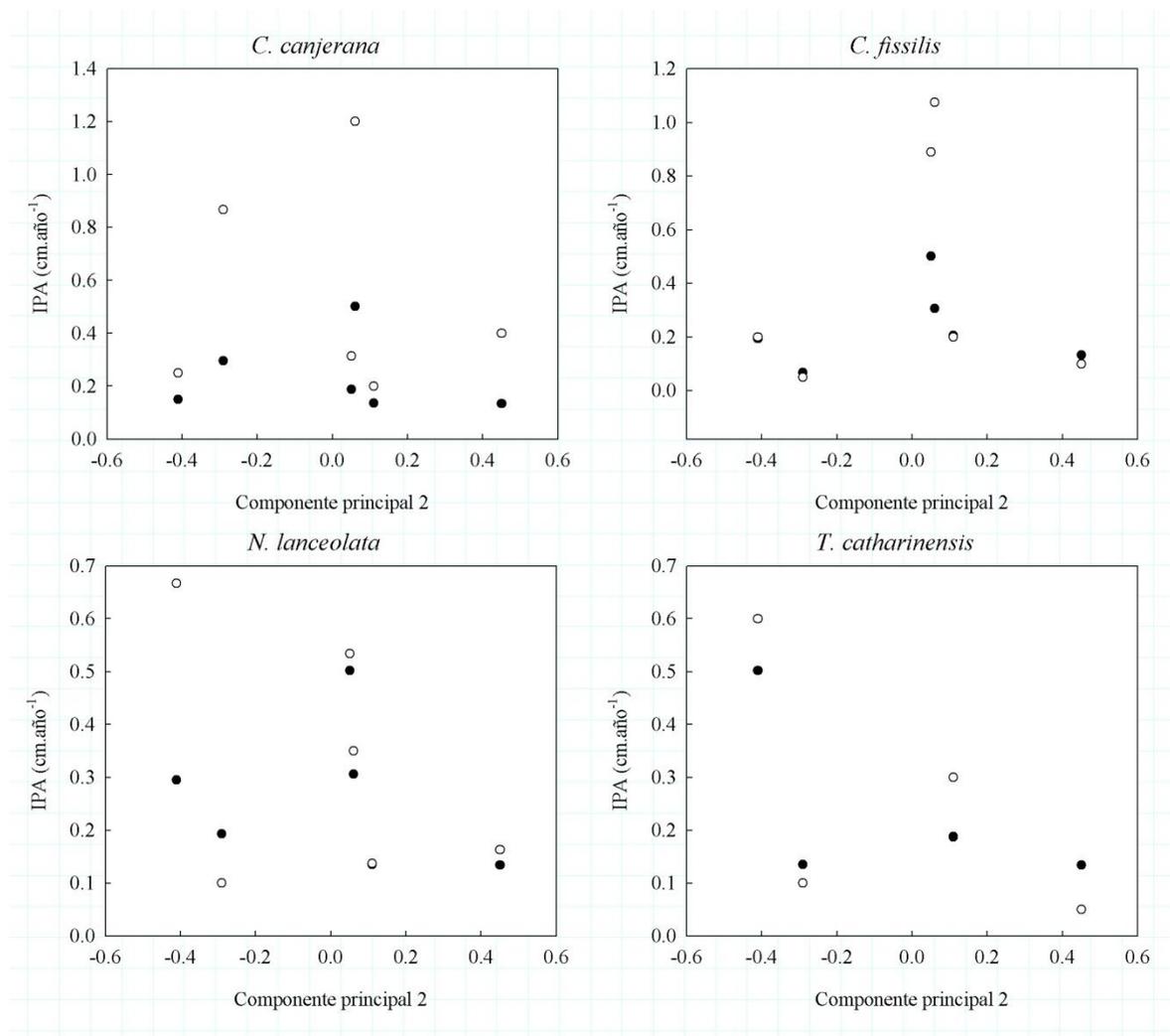


Figura 3.13. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA superior al IPA del rodal en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal.

Las especies de crecimiento medio, con tendencia a presentar un IPA similar que el IPA medio del rodal, fueron *C. americana*, *C. gonocarpum*, *N. megapotamica*, *H. apiculata* (Figura 3.14).

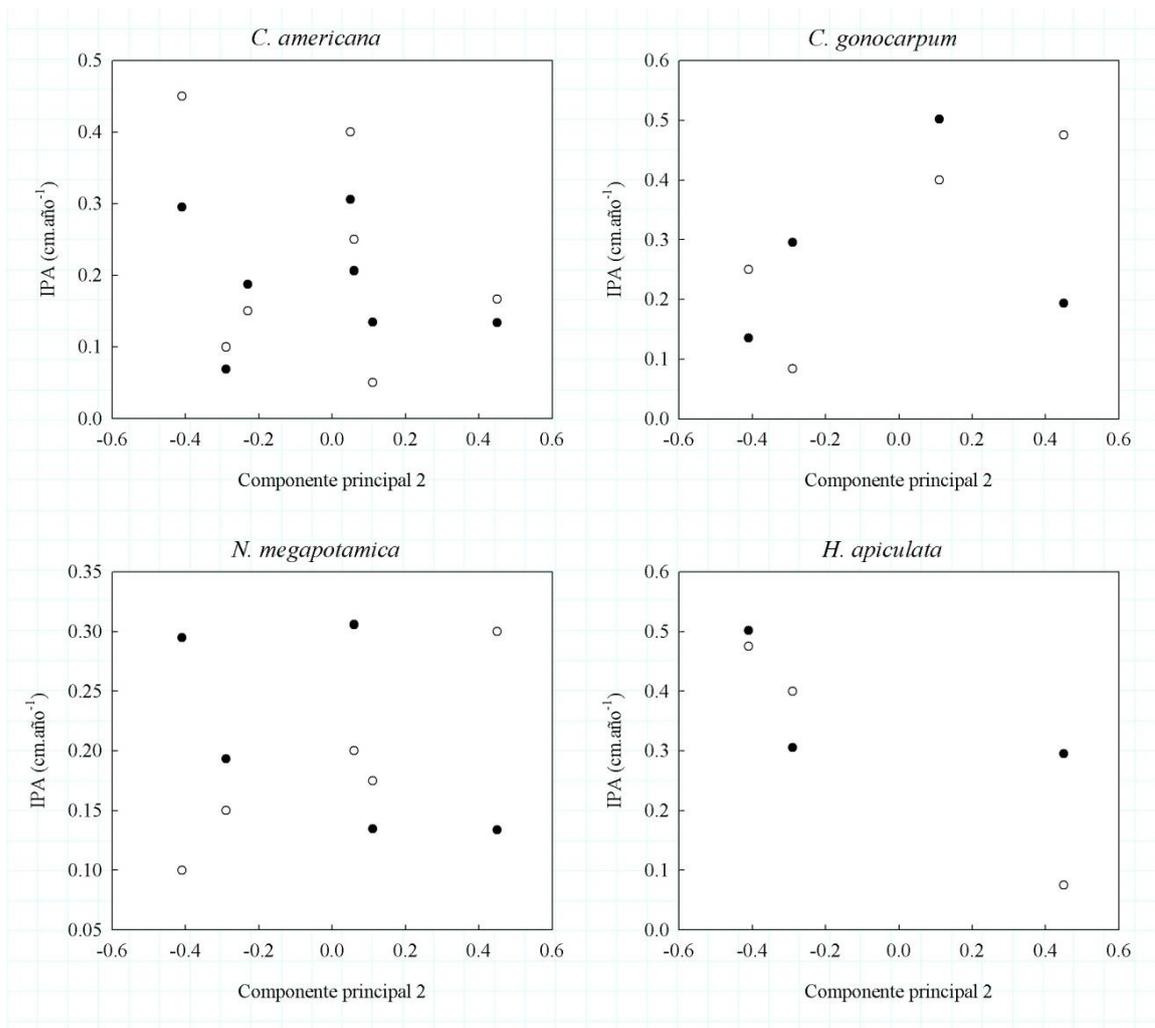


Figura 3.14. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA similar al IPA del rodal en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal.

Las especies de crecimiento bajo, con tendencia a presentar un IPA inferior al IPA medio del rodal, fueron *C. vernalis*, *M. elaeagnoides*, *H. balansae*, *M. paraguariense*, *P. rigida*, *L. muehlbergianus* y *C. xanthocarpa* (Figura 3.15).

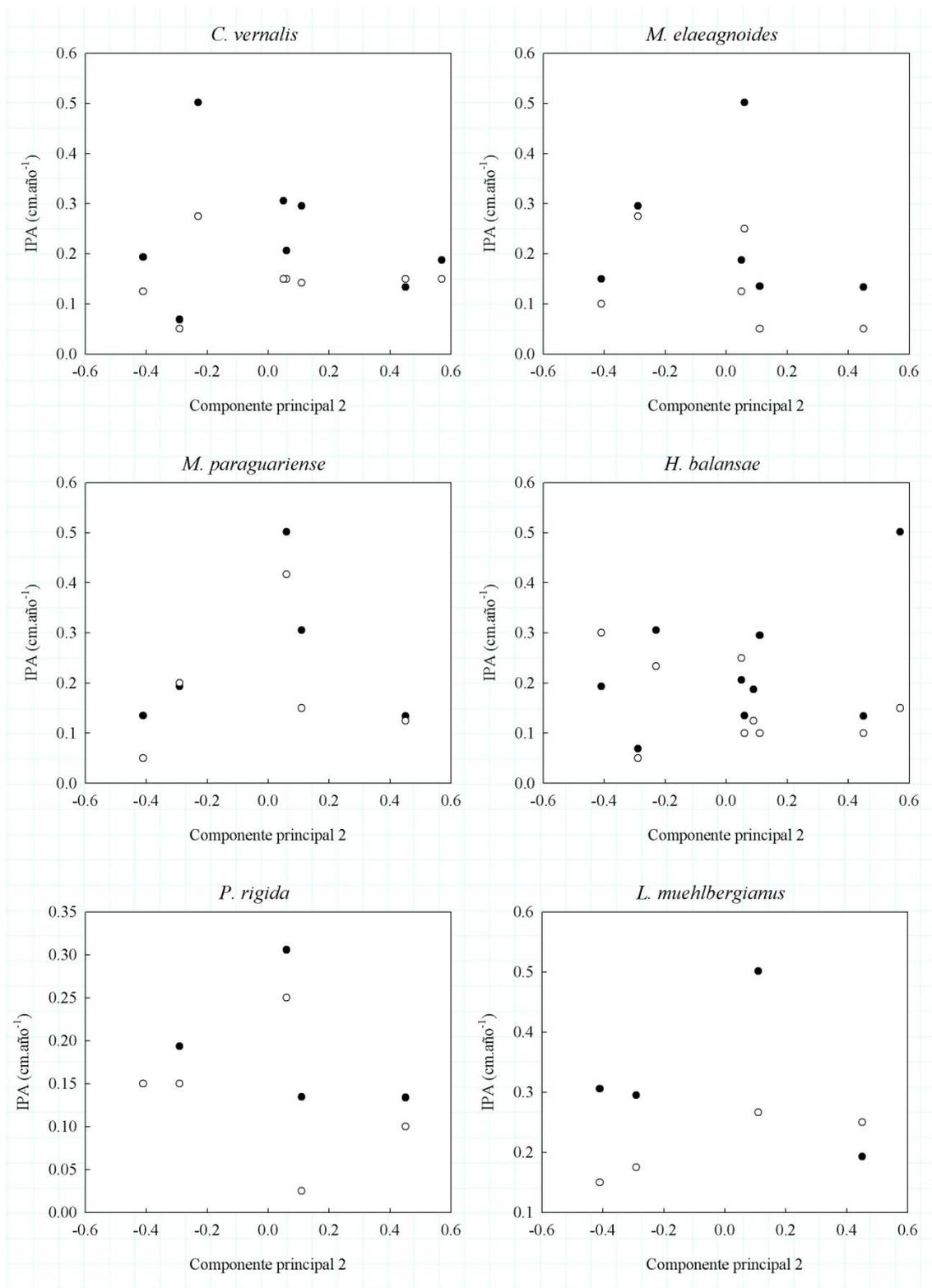


Figura 3.15. Incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de renovales de la clase de tamaño 1 en función de los valores de la componente principal 2 de las especies que tendieron a presentar un IPA inferior al IPA del rodal en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Puntos blancos: valor de la especie, puntos negros: valor del rodal.

Los coeficientes de correlación de la componente principal 2 con el IPA por especie resultaron significativos para dos especies, mientras que el eje 1 no presentó relación con las especies (Tabla 3.7). Esas correlaciones sólo se llevaron a cabo con el IPA absoluto ya que no se observaron correlaciones significativas entre diámetro e IPA relativo para ninguna especie en esta categoría. Los coeficientes calculados variaron entre 0,06 y 0,52 ( $p > 0,05$  en todos los casos). La correlación únicamente resultó positiva y significativa en *C. canjerana* y *C. vernalis*, es decir, que tendieron a presentar mayor crecimiento en rodales con mayor área basal y menor abertura de dosel, *M. eleagnoides* presentó una tendencia similar, resultando no significativa estadísticamente.

Tabla 3.7. Coeficientes de correlación del incremento periódico anual absoluto (IPA) del diámetro de cada especie de renoval de la clase de tamaño 1 con la componente principal 1 (eje 1) y la componente principal 2 (eje 2) en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. ns:  $p > 0.1$ , +:  $p < 0.1$ , \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ .

Especie	eje 1	eje 2
<i>Albizia niopoides</i>	0.39 ns	0.41 ns
<i>Allophyllus edulis</i>	-0.11 ns	0.42 ns
<i>Cabralea canjerana</i>	-0.29 ns	0.81 *
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.2 ns	0.44 ns
<i>Cedrela fissilis</i>	0.58 ns	-0.01 ns
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	-0.035 ns	0.09 ns
<i>Cordia americana</i>	-0.01 ns	0.29 ns
<i>Cupania vernalis</i>	0.23 ns	0.63 *
<i>Helietta apiculata</i>	0.2 ns	0.44 ns
<i>Holocalix balansae</i>	0.16 ns	-0.04 ns
<i>Lonchocarpus muhelbergianus</i>	-0.12 ns	0.14 ns
<i>Machaerium paraguariense</i>	0.24 ns	0.16 ns
<i>Matayba eleagnoides</i>	-0.4 ns	0.66 +
<i>Myrocarpus frondosus</i>	0.42 ns	0.57 ns
<i>Nectandra lanceolata</i>	-0.06 ns	0.57 ns
<i>Nectandra megapotamica</i>	0.06 ns	0.1 ns
<i>Parapiptadenia rigida</i>	0.41 ns	-0.51 ns
<i>Peltophorum dubuim</i>	0.32 ns	0.25 ns
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	-0.14 ns	0.71 ns

No se halló un efecto significativo del uso previo sobre el IPA medio de los rodales ( $F=0,93$ ,  $P>0,6$ ). Este análisis se llevó a cabo utilizando sólo el uso previo como variables explicatoria debido a que no se observó un ajuste significativo de las características del rodal (Figura 3.16). Dos de los rodales con IPA más alto provinieron de bosque nativo y los más bajos de uso previo agrícola.

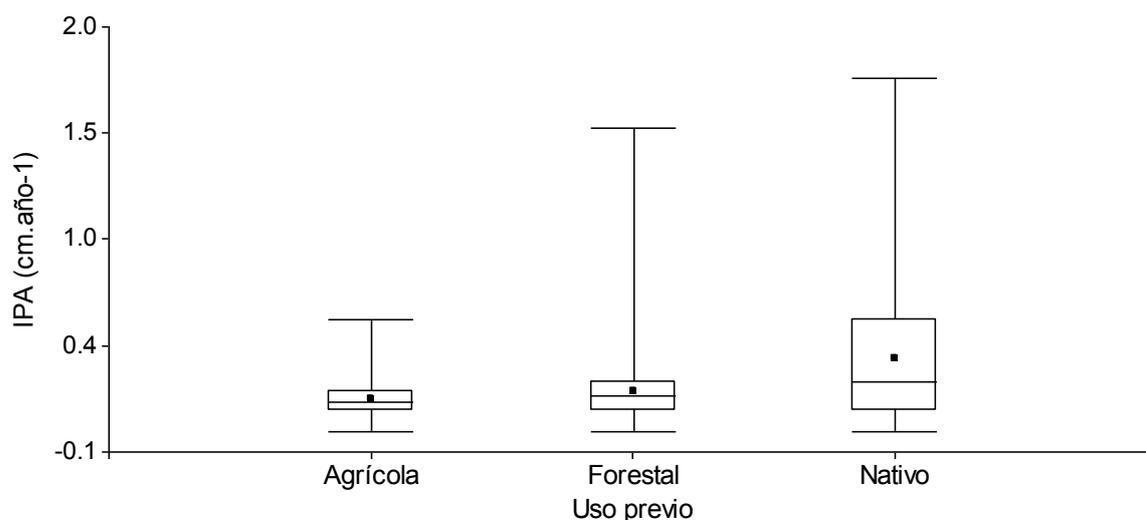


Figura 3.16. Incremento periódico anual absoluto (IPA) de renovales de la clase de tamaño 1 por tipo de uso anterior del suelo en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Los puntos negros indican la media. La línea central es la mediana, el límite superior e inferior de la caja son percentiles 75 y 25 y los extremos de las barras externas son máximo y mínimo.

### Relación entre el crecimiento y la distribución de tamaños

La distancia entre especies basada en sus diferencias de crecimiento, tanto de los renovales menores de 1 cm de DAP como de los mayores, presentó una tendencia a correlacionarse con las distancias en términos de distribución de la abundancia por clases de tamaños (R de Mantel= 0.19,  $p=0.07$  para los menores; R de Mantel= 0.16,  $p= 0.08$  para los mayores). En ambas correlaciones se observaron tendencias

similares del crecimiento con la distribución. Las especies de crecimiento más lento tendieron a presentar una alta densidad de individuos en las clases diamétricas menores mientras que las de rápido crecimiento tendieron a presentar mayor densidad de tamaños intermedios o mayores.

## **DISCUSIÓN**

El crecimiento diamétrico absoluto de los renovales de árboles nativos, varía en relación con las características de la plantación y que esa relación puede diferir entre especies y entre clases de tamaño. En acuerdo con lo planteado en la hipótesis 1, los renovales mayores de 1 cm de DAP presentaron, en promedio, mayor crecimiento en rodales con mayor disponibilidad de luz y menor área basal, independientemente de la edad de la plantación. Esto refleja una mayor incidencia del manejo que de la edad del rodal en las tasas de crecimiento diamétrico.

Las relaciones con el eje 1, que representa en mayor medida un gradiente de edad y en parte de área basal, resultan más difíciles de interpretar. Sólo tres especies mostraron una relación significativa, tanto en crecimiento absoluto como relativo, sin que pueda identificarse un patrón particular para las especies de crecimiento rápido o lento. Las tendencias respecto de la disponibilidad de luz y el área basal fueron principalmente observadas en términos de crecimiento absoluto y para algunas especies la misma tendencia se observó en crecimiento absoluto y relativo. Dada la correlación observada entre IPA y DAP, puede interpretarse que las diferencias de crecimiento absoluto están asociadas con diferencias de tamaño. De hecho, en los rodales en los que se registró mayor crecimiento los renovales fueron de mayor tamaño. En cada rodal la marcación de individuos dentro de cada clase

incluyó el mayor rango de variación de tamaño posible, pero la distribución disponible en cada caso impuso sesgo hacia los límites superiores o inferiores de cada clase según el sitio. Esto significa que los rodales con mayor porcentaje de abertura de dosel y menor área basal presentaron condiciones favorables para la regeneración de ciertas especies, ya que, en ellos, los renovales tendieron a presentar mayor tamaño y mayor crecimiento diamétrico. En algunas especies la misma relación se observó al analizar el crecimiento relativo indicando un aumento del crecimiento es observable al remover el efecto de la diferencia de tamaño. Esto coincide con lo hallado en el Capítulo 2 en el que los resultados indicaron que los rodales con menor área basal presentaron mayor densidad de los renovales de mayor tamaño, lo que fue interpretado en función de mejores condiciones para el crecimiento.

El efecto positivo de la radiación sobre el crecimiento fue observado para especies de crecimiento rápido mientras que dos especies de crecimiento lento presentaron una tendencia opuesta. Las diferentes tendencias del crecimiento de las especies con respecto a las características de los rodales probablemente reflejan diferentes requerimientos. En algunas de esas especies, la diferenciación en las tendencias del crecimiento es coherente con clasificaciones propuestas por Das Chagas e Silva y Soares-Silva (2000) y por Carvalho (2003). Entre las especies de rápido crecimiento y respuesta positiva a los efectos del raleo se encuentran pioneras y secundarias iniciales mientras que las de crecimiento lento y respuesta nula o negativa al raleo son secundarias tardías coincidiendo con lo planteado en la hipótesis 2.

El uso previo no presentó un efecto significativo con el IPA medio de los rodales habiéndose observado sólo una tendencia a presentar menor crecimiento absoluto en los renovales que crecen en plantaciones establecidas sobre tierras agrícolas por lo que no se dispone de evidencias concluyentes sobre la hipótesis 3.

En los renovales menores de 1 cm de DAP se observaron sólo relaciones débiles entre las tasas de crecimiento y las características de los rodales. En este caso ni el crecimiento promedio del rodal, ni el análisis por especies permitió observar relaciones concluyentes. Tampoco se halló un efecto significativo del uso previo respecto del IPA medio a nivel del rodal aunque sí se observó una tendencia a presentar mayor crecimiento en los renovales creciendo en plantaciones establecidas sobre tierras provenientes de bosque nativo que en aquellas provenientes de cultivos agrícolas.

La identificación de especies de crecimiento rápido, permitió apreciar una correspondencia parcial al analizar los renovales mayores de 1 cm de DAP y los menores. Las diferencias más destacables fueron *N. megapotamica* que fue la especie de mayor crecimiento en los mayores de 1 cm de DAP y presentó crecimiento medio en la categoría menor y *M. frondosus* que presentó crecimiento medio en la clase de tamaño mayor y rápido en la menor. Estas diferencias de crecimiento entre especies y entre categorías de tamaño podrían reflejar diferencias entre clases de tamaño en su respuesta al cambio de condiciones o bien que las variables utilizadas para caracterizar los rodales (edad, área basal y disponibilidad de luz) afecten a las categorías mayores pero no a las categorías menores.

Tanto para los renovales mayores de 1 cm de DAP como para los menores, se observaron relaciones del IPA con las distribuciones de la densidad por categorías de tamaño establecidas en el capítulo 2. En ambos casos la relación entre crecimiento y distribución fue similar reflejando una mayor densidad y proporción de individuos pequeños en las especies de crecimiento lento. Estas tendencias resultan coherentes con lo planteado en la hipótesis 4 y coinciden con resultados hallados en bosques neotropicales y paleotropicales (Wright et al. 2003, Kohyama et al. 2015). Sin embargo, algunas especies representaron claras excepciones a esa relación. *Cupania vernalis* presentó una tasa de crecimiento alta para individuos mayores de 1 cm de DAP y medio para los menores, pero por su distribución de tamaño resulta similar a las especies de crecimiento lento, con alta proporción de individuos pequeños. Un ejemplo contrario lo representan *P. rigida* y *O. puberula* que presentaron en ambas clases de tamaño crecimiento lento y por distribución de tamaños, resultaron similares a las especies de crecimiento rápido, con mayor representación de individuos en las clases de tamaño intermedio y mayor. Probablemente estas diferencias están relacionadas con procesos de reclutamiento y mortalidad, que no fueron cuantificados pero pueden incidir en las distribuciones por clases de tamaños (Kohyama 2015).

## CONCLUSIONES

Los renovales mayores de 1 cm de DAP presentaron, en promedio, mayor crecimiento en rodales con mayor disponibilidad de luz y menor área basal, independientemente de la edad de la plantación.

Se observó una marcada variación del crecimiento en relación al área basal y la disponibilidad de luz en especies de rápido crecimiento. Por el contrario, en especies de crecimiento lento no se observó una clara relación. Esas diferencias están posiblemente asociadas con diferencias ecológicas en las que se reconoce un gradiente: especies pioneras de crecimiento rápido y mayor respuesta - especies tardías, de crecimiento lento y menor respuesta.

El crecimiento se relacionó con las distribuciones de tamaños de las especies indicando mayor densidad y proporción de individuos pequeños en las especies de crecimiento lento.

# **CAPÍTULO 4**

---

**MECANISMOS DE ESTABLECIMIENTO DE ÁRBOLES  
NATIVOS EN PLANTACIONES DE *Pinus taeda* L. EN EL  
NORTE DE MISIONES, ARGENTINA**

# MECANISMOS DE ESTABLECIMIENTO DE ÁRBOLES NATIVOS EN PLANTACIONES DE *Pinus taeda* L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA

## INTRODUCCIÓN

La regeneración de árboles nativos en sitios recientemente afectados por depende de la persistencia de órganos vegetativos capaces de rebrotar, de la existencia de un banco de semillas o de su arribo a través de dispersión (Chadzon et al. 2007). El restablecimiento de la vegetación nativa en sitios productivos abandonados fue estudiada en la selva montana de las Yungas (Grau et al. 1997), en la Selva Paranaense de Misiones (Vaccaro et al. 2003, Holz et al. 2009), así como en otros bosques del mundo (Bowen et al. 2007). Todas estas contribuciones indicaron que la edad del sitio abandonado y el uso previo fueron las variables más importantes que explican diferencias en el proceso de recuperación entre sitios. En Misiones se encontró que, en áreas degradadas por el uso agrícola y ganadero, existen limitantes para la regeneración de las especies arbóreas nativas relacionados con la baja disponibilidad de semillas, condiciones edáficas desfavorables y competencia con especies herbáceas (Holz y Placci 2008).

Tanto el banco de semillas como el de órganos vegetativos presentes en el suelo se ven afectados por la intensidad de uso previo, por lo cual, en sitios que fueron utilizados en sistemas productivos intensivos durante varios años la regeneración se vuelve muy dependiente de los procesos de dispersión (Senbeta y Demel 2001). En estos casos cobra importancia la cercanía de las fuentes de semillas ya que independientemente del método de dispersión resulta muy pequeña la proporción de semillas que puede ser dispersada a distancias mayores de 300 metros (Hewitt y

Kellman 2002), especialmente en ambientes boscosos fragmentados (Cramer et al. 2007). Por lo tanto, la colonización del sotobosque por parte de las especies nativas será menos probable si las plantaciones se encuentran aisladas de los remanentes de bosque nativo (Onaindia y Mitxelena 2009). Cuando estos remanentes se encuentran en torno a las plantaciones la dispersión por animales cumple un rol fundamental, en plantaciones de pino en Misiones Dummel y Pinazo (2013) encontraron que entre el 65 y 72 % de las especies que regeneraban eran dispersadas por animales, y únicamente entre 17 y 23 % por viento. El rebrote es un mecanismo de propagación ampliamente distribuido entre especies arbóreas de diferentes bosques del mundo que permite la regeneración de la vegetación nativa en sitios abandonados (Poorter et al. 2010). Estudios de regeneración realizados en el Bosque Atlántico Sur en Paraguay y Misiones sugieren la importancia de este mecanismo en la regeneración después de la ocurrencia de disturbios naturales o antrópicos (Kammesheidt 1998). La diversidad de mecanismos de dispersión, requerimientos para la germinación y el establecimiento podría determinar que, en el sotobosque de las plantaciones forestales, se encuentren diferentes grupos de especies dependiendo de los procesos de regeneración predominantes (Aubin et al. 2008). Además, las diferencias entre especies en los requerimientos para su regeneración suelen dar como resultado diferentes distribuciones de tamaño (Wright et al. 2003), y de manera similar pueden incidir las diferencias en la capacidad de rebrote, dado que los renovales establecidos por este mecanismo pueden diferir de los de semilla en sus tasas de reclutamiento, supervivencia y crecimiento (Chadzon et al. 2007). El objetivo general de este capítulo fue describir los procesos de establecimiento de las especies arbóreas nativas en plantaciones, evaluar

diferencias en relación con el uso previo del suelo, la disponibilidad de bosque nativo en el entorno y características a nivel del rodal, y relacionar los resultados con las distribuciones de clases de tamaño descritas en el capítulo 2.

## **HIPÓTESIS**

1. El uso del suelo previo al establecimiento de las plantaciones afecta la permanencia de semillas por lo que la densidad, riqueza y composición de árboles nativos que emergen por germinación en las plantaciones es diferente según el tipo de cobertura previo: se espera mayor densidad y riqueza de plántulas en suelos previamente ocupados por bosque nativo que en suelos previamente ocupados por plantaciones o cultivos agrícolas.
2. Las oportunidades de arribo de semillas aumentan con la edad y la proporción de bosque nativo en el entorno de la plantación, en consecuencia, la riqueza y densidad de árboles nativos que emergen por germinación son directamente proporcionales al aumento en aquellas variables con un consecuente cambio en composición.
3. Las condiciones ambientales determinadas por la estructura de la plantación determinan diferencias en las tasas de emergencia por germinación por lo que existen diferencias de composición entre plantaciones con diferencias estructurales.
4. Las especies con alta frecuencia de establecimiento por reproducción asexual presentan mayores probabilidades de establecimiento de individuos pequeños que las que dependen de procesos de germinación por lo que existen diferencias en las distribuciones de tamaño entre especies con diferente frecuencia de reproducción asexual.

## OBJETIVOS PARTICULARES

1. Identificar y cuantificar los renovales de las especies que germinan en el sotobosque de las plantaciones en distintas estaciones del año durante dos años.
2. Analizar el efecto de las variables estructurales, uso anterior del suelo y bosque nativo en el entorno sobre la emergencia de plántulas de árboles nativos.
3. Cuantificar el aporte de los procesos de regeneración sexual y agámica de los renovales.
4. Evaluar la relación entre la frecuencia de cada mecanismo reproductivo en cada especie y la distribución de su densidad por clases de tamaño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo

Se seleccionaron 5 rodales de los cuales 4 presentaron entre 8 y 12 años y uno 37 años. Dos de los rodales fueron raleados: Nat6 un año antes del muestreo y For6a un mes antes del muestreo. Se realizaron cuatro muestreos durante primavera y otoño de 2014 y 2015 con la finalidad de cuantificar la densidad (ind.ha<sup>-1</sup>) de renovales provenientes de germinación, detectando especies de emergencia primaveral y las de verano-otoño. Sólo un rodal fue muestreado en las cuatro fechas mientras que los restantes abarcaron sólo una primavera y un otoño, ya sea de 2014 o 2015. En cada rodal se instalaron 15 parcelas permanentes de 2 m por 10 m (20 m<sup>2</sup>) con un distanciamiento mínimo de 15 m entre ellas (Figura 4.1). En cada parcela se relevó la presencia de todos los individuos de árboles nativos que medían entre

10 y 50 cm de altura en los que podía observarse la marca de la inserción de los cotiledones.

En cada rodal se establecieron 4 parcelas circulares de 300 m<sup>2</sup> cada una con la finalidad de determinar la densidad y área basal de los árboles plantados. Las mismas estuvieron dispuestas en los vértices de un diseño cuadrangular de 30 m de lado (Figura 4.1). Se consignó además el uso previo a la plantación a través de consulta con los propietarios y corroboración mediante imágenes satelitales LANDSAT. Mediante tales imágenes se cuantificó además la proporción de bosque nativo en el entorno de cada rodal muestreado. Para esa cuantificación se procedió a realizar una clasificación supervisada (Richard y Jia 1999) y estimar la proporción de bosque nativo en un radio de 300 m a partir del punto central de muestreo (Capítulo 2).

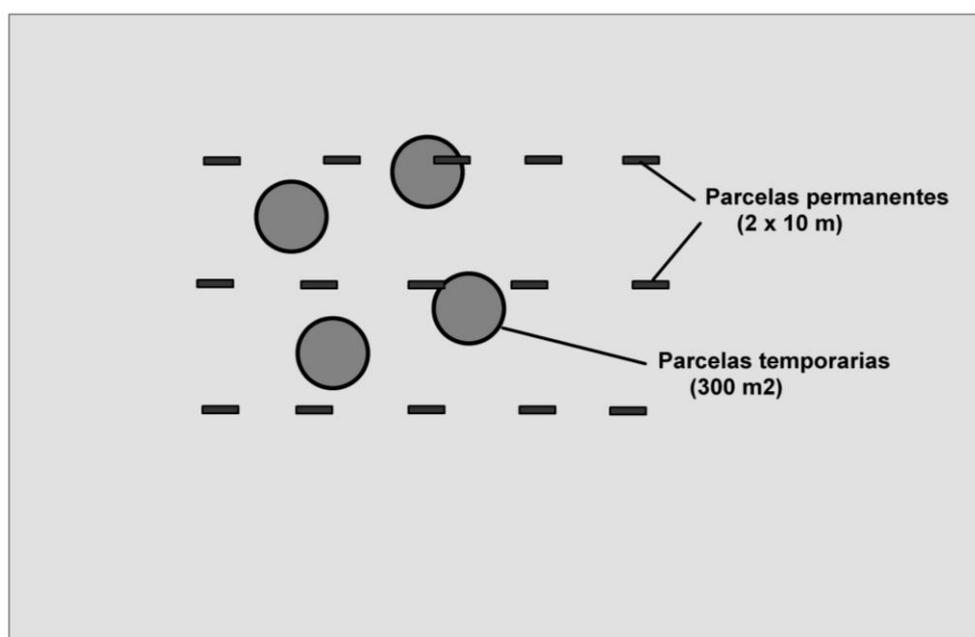


Figura 4.1. Representación grafica del diseño de muestreo utilizado en cada rodal para determinar la emergencia de plántulas en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Se esquematizan las 15 parcelas permanentes del muestreo de germinación y las 4 parcelas temporarias utilizadas para determinar la estructura de la plantación.

## **Determinación del mecanismo reproductivo**

Con el objetivo de determinar el mecanismo reproductivo (rebrote o semilla) de los renovales de árboles nativos fueron seleccionados 3 rodales distintos a los de germinación. Al momento de la medición estos rodales contaban entre 12 y 19 años de edad, área basal entre 20 y 26 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, densidad entre 660 y 1150 ind.ha<sup>-1</sup>, y con un uso anterior del suelo agrícola y forestal. Sobre la base de datos de 114 especies presentes en las plantaciones de pino de la región (Capítulo 2) se procedió a seleccionar un subconjunto de 24 especies teniendo en cuenta su frecuencia de aparición en las plantaciones y su importancia económica y ecológica. En cada uno de los tres rodales se procedió a localizar, a lo largo de una transecta, individuos de las especies seleccionadas mayores de 50 cm de altura y que no superaran 1 cm de diámetro del tallo a 1,30 m desde el suelo. En cada rodal se estableció un número máximo de individuos 8 por especie manteniendo una distancia mayor a 10 metros entre individuos de la misma especie. También se estableció un valor mínimo de 50 y máximo de 100 individuos a ser verificados en total en cada rodal. La técnica utilizada para determinar el origen de los renovales (rebrote o semilla) fue el excavado. En total se observaron 190 individuos. En el marco de esta tesis se denominó rebrote a todos los individuos originados por reproducción asexual.

## **Análisis de datos**

Se llevó a cabo un análisis de clasificación (Jongman et al. 1995) para obtener una representación gráfica de las relaciones de similitud en la abundancia de plántulas por especies obtenidas en diferentes fechas y en diferentes rodales según lo planteado en el objetivo 1. Para llevar a cabo dicho análisis se construyó una

matriz con una sola observación por rodal que integró resultados del muestreo de primavera y otoño en cada sitio. En el caso del rodal con cuatro fechas de muestreo se utilizaron sólo dos de ellas. . El valor utilizado por especie fue el mayor de ambas estaciones. En dicho análisis se utilizó la distancia de Bray y Curtis como medida de disimilitud y el método de Ward como método de aglomeramiento (Jongman et al. 1995). Se calcularon correlaciones de Pearson para evaluar si la densidad total de renovales y la riqueza de especies de los mismos estuvieron correlacionadas con la edad, la densidad de árboles plantados, el área basal, y la proporción de bosque nativo en el entorno para cumplir con lo planteado en el objetivo 2. Además, también en cumplimiento del objetivo 2, se aplicaron pruebas de Mantel (Fortin y Gurevitch 1993) para evaluar si la distancia en los valores de abundancia entre rodales se relacionaban con diferencias en la edad, densidad, área basal, uso previo y bosque nativo en el entorno. Se utilizó el paquete “vegan” del software estadístico “R” (Oksanen et al. 2013).

Se evaluó si las diferencias entre especies respecto de la proporción de individuos originados por rebrote o germinación estuvo asociada con las diferencias entre ellas en términos de abundancia en cada clase de tamaño (Capítulo 2) cumpliendo con los objetivos 3 y 4. Con esa finalidad se aplicó la prueba de Mantel para estimar la asociación entre una matriz de distancia basada en las diferencias en proporción de rebrote por especie y otra matriz de distancia calculada a partir de la abundancia, en individuos por hectárea, en cada clase de tamaño. En ambos casos se utilizó la distancia euclidiana. Las abundancias fueron transformadas a raíz cuadrada con la finalidad de evitar que los valores muy elevados, observados en la clase menor para algunas especies, dominaran los resultados del análisis.

## RESULTADOS

Se registró un total de 48 especies arbóreas germinando en todos los sitios de muestreo. La abundancia por rodal varió entre 19 y 115 individuos lo cual equivale a 633 y 3833 ind.ha<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que la riqueza de especies varió entre 6 y 18 en los mismos rodales (Tabla 4.1). Los valores más elevados en riqueza y densidad se encontraron en rodales adultos y con bosque nativo en el entorno, mientras que la riqueza y densidad más baja se registró en rodales jóvenes y sin bosque nativo en el entorno o con baja proporción del mismo. Sin embargo, esta variable no estuvo correlacionada con la densidad y riqueza de renovales como tampoco lo estuvieron la edad del rodal, la densidad de árboles plantados y el área basal ( $p > 0.1$  en todos los casos).

Tabla 4.1. Variables estructurales, uso previo, proporción de bosque nativo en el entorno de los sitios de muestreo y valores de riqueza y densidad por medición en cada rodal de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. Edad (años). AB: área basal (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>). Dens: Densidad (ind.ha<sup>-1</sup>). UP: Uso previo. PBN: Proporción de bosque nativo en el entorno (%).

	Rodales:	For6a	Nat6	Agr10b	Nat35a	For8b
Variables de los rodales	Edad	6	6	10	35	8
	AB	22.4	36.8	34.2	30.9	25
	Dens	517	1567	1150	575	642
	UP	Forestal	B. nativo	Agrícola	B. nativo	Forestal
	PBN	0	31.6	42.8	23.7	10
Otoño 2014	Abundancia	933	1400	2267	---	---
	Riqueza	9	14	18	---	---
Primavera 2014	Abundancia	633	1467	2500	---	---
	Riqueza	6	14	18	---	---
Otoño 2015	Abundancia	---	---	1833	2900	1700
	Riqueza	---	---	13	18	20
Primavera 2015	Abundancia	---	---	2967	3833	1433
	Riqueza	---	---	13	18	21

El análisis de clasificación (Figura 4.2) indicó que las diferencias entre rodales en la abundancia por especies de árboles nativos fueron mayores que las diferencias entre fechas de muestreo dentro de un mismo rodal. En el rodal con cuatro fechas de muestreo se observó mayor similitud entre aquellas que pertenecieron a la misma estación que las pertenecientes al mismo año.

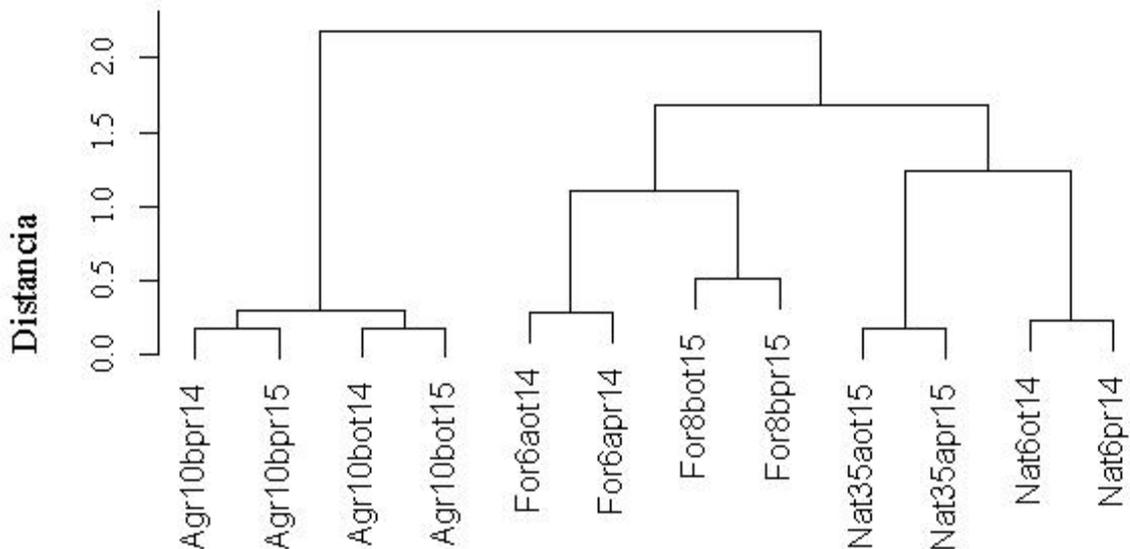


Figura 4.2. Dendrograma del análisis de clasificación sobre la base de la distancia de composición específica de plántulas entre rodales y mediciones en el Norte de Misiones, Argentina. Las abreviaciones corresponden al nombre del rodal + “ot” (medición de otoño) o “pr” (medición de primavera) + 14 (medición del año 2014) o 15 (medición del año 2015).

Los resultados de las correlaciones de Mantel (Tabla 4.2) indicaron que los rodales con similar proporción de bosque nativo en un radio de 300 metros resultaron similares en los valores de abundancia de plántulas por especie. De las restantes variables sólo el área basal del rodal se relacionó con la abundancia. La selección de sitios condujo a que el área basal y la proporción de bosque nativo en el entorno resultaran muy correlacionadas entre sí. Por ese motivo no fue posible

diferenciar estadísticamente la respuesta de la abundancia por especie con respecto a esas variables. Algunas especies presentaron sus máximos de abundancia claramente localizados en rodales con mayor bosque nativo en el entorno mientras que otras presentaron la tendencia inversa o fueron indiferentes (Figura 4.3). En cuanto a la distribución de especies por su modo de dispersión se encontró que el 73 %, 23 % y 4 % de las especies encontradas en todos los rodales presentaron dispersión zoócorica, anemócora y otros modos, respectivamente.

Tabla 4.2. Correlaciones de Mantel de la matriz de distancia de abundancia de especies de plántulas con las distancias basadas en variables estructurales, uso previo y bosque nativo en el entorno, en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. R: coeficiente de correlación. P: p-valor.

Estadístico	Variables				
	Bosque nativo	Uso previo	Área basal	Edad	Densidad
R	0.659	0.37	0.74	0.305	-0.005
P	0.025	0.202	0.011	0.639	0.531

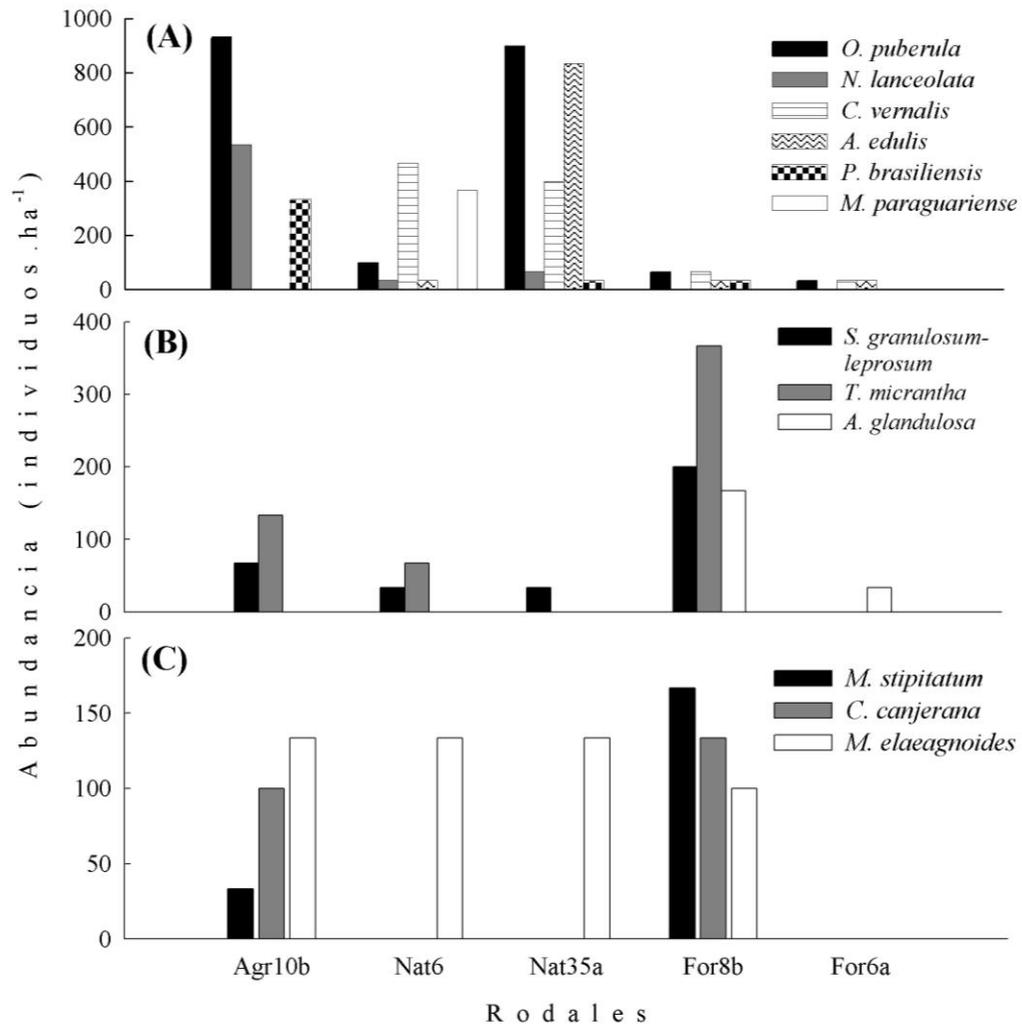


Figura 4.3. Distribución de abundancia de plántulas de (A): especies abundantes en sitios con media a alta proporción de bosque nativo en el entorno, (B): especies con mayor abundancia en rodales raleados, (C): especies con similar abundancia en las distintas condiciones, en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina. La proporción de bosque nativo en el entorno de cada rodal decrece desde la izquierda (Agr10b) hacia la derecha (For6a).

De 190 individuos observados para determinar el mecanismo de establecimiento, 155 (82 %) presentaron establecimiento por semilla y tan solo 35 individuos (18 %) resultaron establecidos por rebrote. En los tres rodales se observaron similares porcentajes de individuos establecidos por semilla: 86 %, 83 % y 77 %. De 23

especies observadas, seis presentaron establecimiento exclusivamente por semilla y en seis el porcentaje de rebrote fue cercano o superior al 50 % (Figura 4.4).

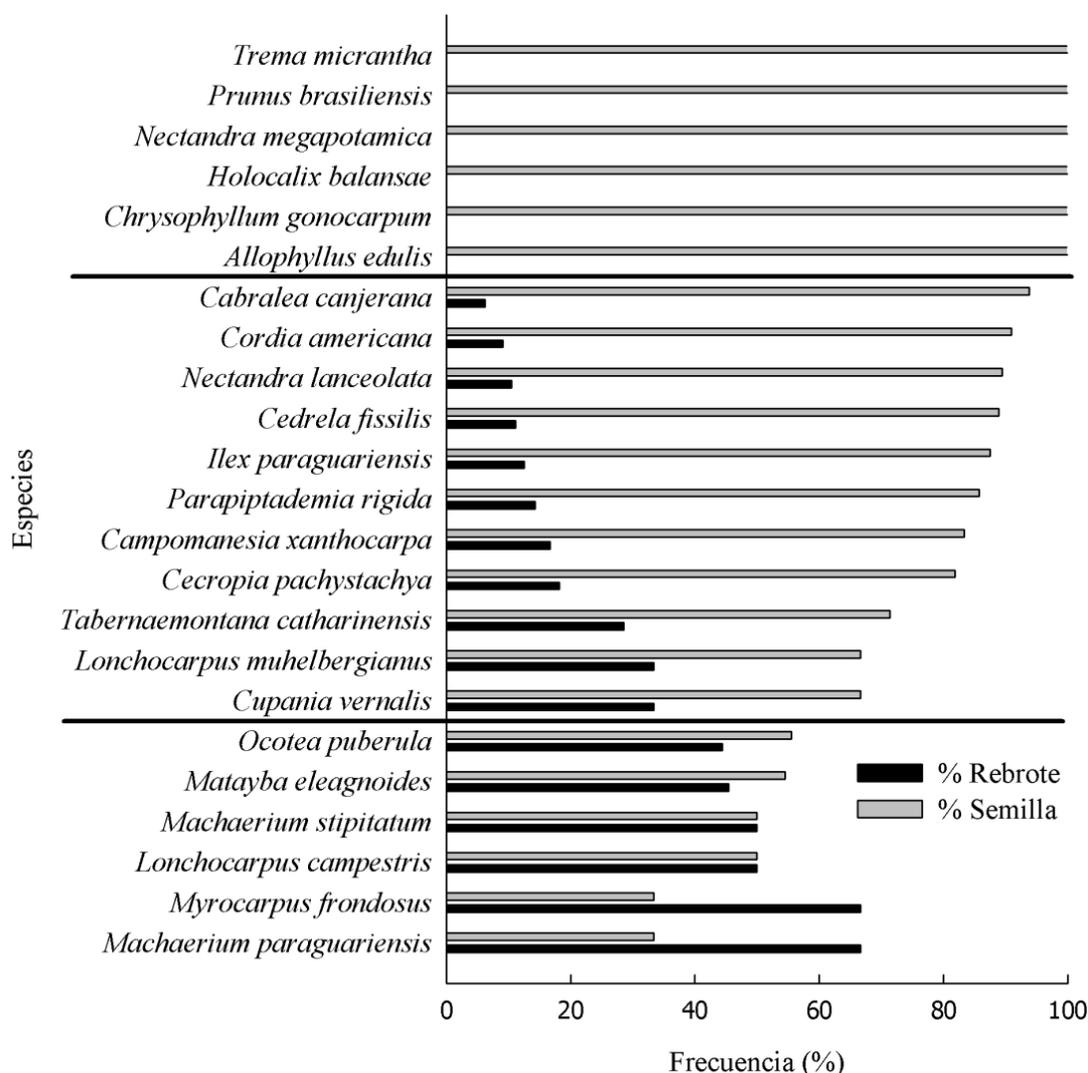


Figura 4.4. Frecuencia (%) de individuos originados por rebrote y semilla en 24 especies arbóreas en plantaciones de *Pinus taeda* en el Norte de Misiones, Argentina.

Las diferencias entre especies en la proporción de individuos originados por rebrote se relacionó con las diferencias en la distribución de individuos por clase de tamaño ( $r$  de Mantel= 0.33,  $p=0.04$ ). Las especies con mayor proporción de individuos originados por rebrote fueron las que tendieron a presentar mayor

concentración de individuos en clases de menor tamaño, estas especies fueron *M. paraguariense*, *M. stipitatum* y *L. campestris*. En el otro extremo se encontraron las especies que no presentaron establecimiento por rebrote y correspondieron a las especies con menor concentración de individuos en la clase de menor tamaño en la mayor parte de los rodales estudiados, estas especies fueron *T. micrantha*, *N. megapotamica*, *A. edulis*, *P. brasiliensis*, *H. balansae* y *C. gonocarpum*.

## DISCUSIÓN

La densidad y riqueza de renovales de árboles nativos originados por germinación en las plantaciones de *P. taeda* no presentaron tendencias de asociación con la edad, o las características estructurales de los rodales y tampoco con el uso previo o la proporción de bosque nativo en su entorno. Esas tendencias se encontraron en clara contradicción con lo planteado en las hipótesis 1 a 3. En cambio, la composición de renovales expresada como la abundancia por especie sí estuvo relacionada con el bosque nativo en el entorno y el área basal de la plantación, coincidiendo con lo planteado en las hipótesis 2 y 3. Los rodales ubicados en sitios con mayor proporción de bosque nativo presentaron mayores abundancias de especies que son características de estructuras maduras de la Selva Paranaense y en su mayoría presentan frutos carnosos. La misma relación se observó con el área basal debido a que los rodales seleccionados exhibieron una alta correlación entre esa variable y la proporción de bosque nativo en el entorno. Por este motivo resulta dificultosa la interpretación de las relaciones entre la composición específica, el área basal del rodal y el bosque nativo en el entorno. La mayor abundancia de especies dispersadas por vertebrados, en rodales con más bosque nativo en el entorno,

constituye un resultado coincidente con los efectos de la distancia a la fuente descritos en numerosos trabajos (Dummel y Pinazo 2013, Koh et al. 2015, Senbetay Demel 2001, Senbeta et al. 2002). Por otra parte, las especies cuyo máximo de abundancia ocurre en rodales con baja proporción de bosque nativo en el entorno son pioneras de vida corta, propias de sitios con fuerte reducción de la cobertura del dosel como *T. micrantha*, *S. granulorum-leprosum* o bien especies más longevas pero demandantes de luz como *A. triplinervia* (Das Chagas e Silva y Soares-Silva 2000, Carvalho 2003, Campanello et al. 2011). Estas especies se encuentran particularmente asociadas al rodal en el que se aplicó un tratamiento de raleo un mes antes del muestreo y que presenta el área basal más baja. Esta tendencia refuerza la relación entre el área basal y las diferencias de composición. Los rodales raleados 1 y 3 años antes del muestreo, presentaron baja o nula densidad de renovales de estas especies. En consecuencia, algunas diferencias de composición resultan explicables por efecto del bosque nativo en el entorno y otras por efecto de las diferencias de área basal sin que pueda discriminarse el efecto particular de cada variable debido al bajo número de rodales muestreados. Un resultado interesante respecto del muestreo es que las observaciones realizadas en un mismo rodal en diferentes estaciones y en diferentes años resultaron más similares entre sí que con respecto a otros rodales, indicando que con un bajo esfuerzo de muestreo pueden caracterizarse las diferencias. En este sentido pudo haber resultado relevante que durante los dos años de estudio las precipitaciones anuales se encontraron por encima de la media.

La falta de asociación entre el uso previo y la composición específica de los renovales contrasta con lo hallado por otros trabajos (Gachet et al. 2007, Holz 2007,

Loumeto y Huttel, 1997). A pesar del resultado de las pruebas de asociación, el dendrograma permite apreciar que los rodales con uso previo forestal tienden a parecerse entre sí más que a otros rodales y lo mismo sucede con los provenientes de bosque nativo. Además, el único rodal con uso previo agrícola (Agr10b) se diferencia claramente del resto. Los trabajos que analizan el efecto del uso previo sobre la regeneración de árboles muestran que el uso previo agrícola elimina el banco de semillas y propágulos vegetativos que podría dar origen a renovales (Gachet et al. 2007), en rodales establecidos sobre esas tierras. Sin embargo, las principales diferencias de composición estuvieron dadas por especies que presentaron abundancias mucho mayores en Agr10b que en los demás rodales (*O. puberula*, *N. lanceolata* y *P. brasiliensis*) o sólo estuvieron presentes en ese rodal (*A. niopoides*, *C. xanthocarpa* y *P. rigida*). Sólo dos especies fueron frecuentes en los restantes rodales y estuvieron ausentes en Agr10b (*C. vernalis* y *C. ecalyculata*). Esas tendencias sugieren que la diferencia composicional de Agr10b respecto del resto no está relacionada con una baja disponibilidad de propágulos, debida al uso previo agrícola, sino con una mayor disponibilidad de propágulos determinada por la alta proporción de bosque nativo en el entorno. Estos resultados apoyan el concepto de que las plantaciones forestales pueden promover la biodiversidad siempre y cuando estén disponibles las fuentes de semillas en el entorno (Senbeta y Demel 2001).

La edad de las plantaciones fue señalada como una variable relacionada positivamente con la riqueza de renovales en diferentes regiones del mundo (Loumeto y Huttel 1997, Norton 1998, Wang et al. 2004, Onaindia y Mitxelena 2009, Selwyn y Ganesan 2009). Sin embargo, Senbeta et al. (2002) determinaron que la

edad de la plantación no influyó sobre la riqueza de especies en el sotobosque, pero atribuyen sus resultados a las diferencias de composición entre rodales de distintas edades, en rodales jóvenes encontraron especies “pioneras” que no estuvieron presentes en rodales adultos. En este trabajo, el rodal de 37 años no se diferenció del resto por su riqueza, densidad o composición de renovales. Este resultado coincide con lo hallado por Holz (2007) en bosques nativos secundarios donde determinó que las tendencias de asociación con la edad y el uso previo son menos claras en renovales que en árboles de mayor tamaño. Igual resultado fue observado en el capítulo 2 de esta tesis para renovales mayores de 50 cm de altura y hasta 1 cm de diámetro a 1.30 m en 35 rodales que incluyeron a los aquí presentados. Los resultados del capítulo 2 indicaron que la riqueza no aumenta claramente con la edad pero sí con la proporción de bosque nativo en el entorno. En cambio, para clases de tamaño mayores que 1 cm de diámetro se encontró un claro aumento de la riqueza con la edad de las plantaciones. Estos resultados sugieren que en las clases de tamaño pequeñas, que requieren poco tiempo para su establecimiento, la riqueza podría verse poco afectada por la edad de la plantación conformando un banco con alta tasa de recambio. Pero en plantaciones de edad avanzada, existen mayores oportunidades de que individuos de diferentes especies alcancen tamaños mayores respecto de plantaciones jóvenes. En ese proceso, la incidencia del bosque nativo del entorno como fuente de propágulos, incrementa la riqueza de pequeños renovales, cuya supervivencia y crecimiento, determina el aumento de la riqueza en las clases de mayor tamaño con el transcurso del tiempo.

En cuanto al establecimiento de individuos por rebrote se encontró un bajo aporte de los mismos (18 %), este resultado es esperado ya que suele ser un mecanismo

menos frecuente en zonas húmedas que en zonas secas (Vesk y Westoby 2004). A pesar del bajo aporte sobre el total se encontraron especies con más del 50 % de frecuencia de rebrote y especies que presentaron establecimiento exclusivo por semillas (Figura 4.4), estas tendencias coinciden con lo hallado por Busby et al. (2010) en Hawai'i donde determinaron ambos mecanismos de establecimiento en un gradiente de precipitaciones. A diferencia de lo hallado por Kammesheidt (1998), en este trabajo no se encontraron especies establecidas únicamente por rebrote. La relación hallada entre el porcentaje de rebrote y la distribución de la abundancia por clases de tamaño resultó coherente con el planteo de la hipótesis 4 y con lo indicado por Chadzon et al. (2007). Las especies con mayor porcentaje de rebrote presentaron las mayores abundancias de individuos en la clase de menor tamaño. *L. campestris* fue la especie más abundante en las plantaciones estudiadas mientras que *M. paraguariense* y *M. frondosus* ocuparon el séptimo y decimo cuarto lugar en términos de abundancia sobre una base de 114 especies relevados en 35 rodales (Capítulo 2). En cambio, entre las especies con baja frecuencia de rebrote se encontraron distribuciones con mayor proporción de individuos de tamaños intermedios o mayores. Estas tendencias resultaron además coherentes con los valores de crecimiento diamétrico (Capítulo 3) que fue menor en las de mayor frecuencia de rebrote y mayor en las de menor frecuencia de rebrote en coincidencia con los resultados encontrados por Poorter et al. (2010).

Los resultados demuestran la importancia de los procesos de dispersión y germinación en la regeneración de árboles nativos en las plantaciones forestales. La permanencia de los remanentes de bosque nativo en el paisaje representa una condición necesaria para incrementar la diversidad en estos sistemas productivos.

Los renovales de árboles nativos establecidos bajo las plantaciones fueron originados principalmente por vía sexual (semillas), y en menor proporción por vía asexual (rebrote), es importante destacar que el rebrote es la principal estrategia de reproducción en algunas especies y son las más abundantes en las plantaciones. Los factores analizados presentaron efectos sobre la composición de especies y no sobre la riqueza y abundancia de árboles nativos.

Las relaciones encontradas en este trabajo respecto de la emergencia de plántulas por germinación sólo pueden ser tomadas como tendencias debido al bajo número de rodales analizados. La dificultad de contar con un mayor número de rodales es el tiempo demandado por el muestreo y la determinación específica.

## **CONCLUSIONES**

La densidad y riqueza de renovales de árboles nativos originados por germinación en las plantaciones de *P. taeda* no presentaron tendencias de asociación con la edad, o las características estructurales de los rodales y tampoco con el uso previo o la proporción de bosque nativo en su entorno.

Los rodales ubicados en sitios con mayor proporción de bosque nativo presentaron mayores abundancias de especies que son características de estructuras maduras de la Selva Paranaense y en su mayoría presentan frutos carnosos.

El establecimiento de individuos por rebrote representó una baja proporción de los renovales muestreados resaltando la importancia de la disponibilidad de semillas y los procesos de dispersión.

# **CAPÍTULO 5**

---

## **DISCUSIÓN FINAL**

## DISCUSIÓN FINAL

El estudio abarcó todas las condiciones de manejo, desde plantaciones jóvenes y densas, típicas de un manejo con destino a la industria celulósica, hasta plantaciones que alcanzaron 20 años o más, con aplicación de raleos, propias de un manejo con destino a la producción de madera aserrada y/o laminada. También se estudiaron rodales con edades muy superiores al turno de corta que algunos pequeños productores conservan como capital y ahorro.

Los resultados encontrados constituyen un aporte al debate sobre el efecto de las plantaciones sobre la diversidad así como al conocimiento de la influencia del manejo a nivel del rodal y el paisaje. En Misiones las plantaciones forestales representan un tipo de uso de la tierra en expansión, relevante desde el punto de vista económico y localizado en una ecorregión de alto interés de conservación (Placci y Di Bitetti 2006). La regeneración de árboles nativos en las plantaciones de pino de Misiones representa un proceso que podría permitir la persistencia de especies arbóreas nativas en estos sistemas productivos. La riqueza, abundancia, crecimiento y tamaño de los árboles nativos están estrechamente relacionados con el manejo de la plantación y la disponibilidad de remanentes de bosque en el entorno, así como también, del uso de la tierra previo al establecimiento de la plantación.

El establecimiento, crecimiento y cosecha de las plantaciones constituye un mosaico dinámico a nivel del paisaje en el que los rodales que sobrepasan los turnos más frecuentes de corta contribuyen con un sotobosque desarrollado y capaz de brindar funciones ecológicas importantes en áreas dominadas por actividades

productivas. De esta manera un paisaje dinámico conformado por cultivos forestales de distintas edades y cultivos agrícolas no intensificados (*land-sharing*) podrían reducir los efectos negativos sobre la biodiversidad que ya fueron observados a nivel mundial (Kremen 2015). El uso previo a la plantación puede incidir sobre la degradación del suelo, el banco de semillas, la disponibilidad de propágulos vegetativos y podría influir en el establecimiento y crecimiento de las especies que regeneran espontáneamente. Esos efectos demostraron tener mayor influencia en la composición específica pero menor en el crecimiento. Podría concluirse que, o bien la degradación no es tan intensa, o bien, se produce una rápida recuperación del suelo con el establecimiento de la plantación, lo que deberá evaluarse en futuros estudios. En sitios de cultivo abandonado, con desarrollo de vegetación arbustiva y arbórea espontánea, en el Sur de Misiones, se observó una recuperación de las concentraciones de C y N, hasta niveles cercanos a bosques nativos maduros en alrededor de 10 años (Vaccaro et al. 2003).

La mayor parte de los árboles establecidos que se midieron provino de semillas por lo que la permanencia de órganos vegetativos no representaría una variable importante para explicar el efecto del uso previo sobre la composición, riqueza y abundancia de renovales de árboles nativos. En cambio, la disponibilidad de bosque nativo en el entorno sí presentó una influencia clara, especialmente en los renovales más pequeños. Este efecto sugiere una importante influencia de los procesos de dispersión desde el entorno de las plantaciones en un radio de 300 metros, en concordancia con los valores hallados por Vespa et al. (2014) en la región. La persistencia de fragmentos de bosque nativo en una proporción mayor a 20 % de área resulta un requerimiento mínimo que resulta coherente con propuestas de

manejo forestal a nivel del paisaje (Boyloan et al. 2004, Hartmann et al. 2010). Dado que dicho porcentaje resulta una estimación a partir de un muestreo, resulta razonable establecer un criterio conservador planteando un umbral de 25 - 30 % de bosque nativo a nivel del paisaje como meta para la planificación del establecimiento de plantaciones. Resulta particularmente importante que la proporción de área de bosque constituyó la variable que más claramente reflejó estas relaciones sugiriendo que el tamaño de los fragmentos de bosque que contribuyen a esa cobertura resulta menos importante. Este resultado resalta la importancia de los parches pequeños en términos de conservación, especialmente teniendo en cuenta que en los paisajes misioneros, una proporción apreciable del bosque se encuentra en fragmentos menores de 10 ha (Drozd 2011), y por lo tanto contribuyen a la mantención de un sistema de producción mixto a nivel del paisaje favoreciendo la conservación de la biodiversidad en los sistemas de producción *land-sharing* (Fisher et al. 2008, Phalan et al. 2011, Gilroy et al. 2014, von Wehrden et al. 2014, Kremen 2015).

El número total de especies arbóreas registradas en las plantaciones representa una proporción importante de las registradas para la Selva Paranaense. En total fueron 114 especies arbóreas y las relaciones especies – área indicaron que para los renovales de menor tamaño, en una superficie de 0,1 ha de plantación se encuentra un número similar de especies que en el bosque nativo, pero en la clase mayor, el número de especies en las plantaciones tiende a 60 en 4 ha, mientras que, en el bosque nativo tiende a 80 en 0,5 ha. Esa diferencia indica que en las plantaciones existe un banco de renovales pequeños que por no haber tenido el tiempo suficiente o las condiciones ambientales adecuadas para desarrollarse, no alcanzaron tamaños superiores. Las características del rodal, como la edad, el área

basal y la disponibilidad de luz estimada como abertura del dosel, resultaron las variables más influyentes sobre la densidad, riqueza y composición de los renovales de las clases mayores mientras que la disponibilidad de bosque en el entorno afectó más marcadamente a los renovales menores. En alguna medida este efecto fue también observado a nivel de la emergencia de plántulas por germinación. La relación positiva de la densidad y riqueza de renovales mayores con la edad, y negativa con el área basal, estarían relacionadas con el tiempo y las condiciones ambientales necesarias para el crecimiento de los renovales pequeños, hasta alcanzar esas clases de tamaño tal como se concluyó del análisis de las curvas de rarefacción. A menor área basal el crecimiento sería más rápido y permitiría a más especies pasar de clase de tamaño.

La edad de la plantación y el área basal podrían representar indicadores de un conjunto de condiciones cuyo efecto se manifiesta a nivel del rodal. En cambio, no se observó un aporte significativo de otras variables que definen las condiciones del rodal como el número de árboles por hectárea, mientras que las medidas de la disponibilidad de luz, estimadas mediante el uso de fotografías hemisféricas, sólo se relacionaron positivamente con la tasa de crecimiento de los renovales. El efecto de la aplicación de tratamientos de raleo, típicamente aplicados entre 6 y 12 años, tendió a verse reflejado por la disminución del área basal y el aumento en la abertura del dosel, y en esas condiciones se observó un mayor crecimiento para diferentes especies.

En términos generales las especies presentaron mayor crecimiento en sitios con menor área basal (e.g. *Cabralea canjerana* y *Cordia americana*) a excepción de algunas especies tolerantes a la sombra que presentaron el comportamiento inverso

(e.g. *Campomanesia xanthocarpa* y *Parapiptademia rigida*). *Cabralea canjerana* presentó un comportamiento particular en sus distintas clases de tamaño, en individuos con DAP menor a 1 cm presentó mayor crecimiento en sitios con área basal alta y en individuos con DAP superior a 1 cm el mayor crecimiento estuvo relacionado a los sitios con área basal baja, considerándose tolerante en estado juvenil y lo contrario en un estado ontogénico más avanzado (capítulo 3). Las tasas de emergencia por germinación también presentaron tendencias de asociación con el área basal de la plantación debido a las aplicaciones recientes de raleo. Estos tratamientos reducen la cobertura de la plantación aumentando la disponibilidad de luz y favoreciendo la germinación y crecimiento de especies pioneras como *T. micrantha* y *S. granulosum-leprosum*. Lo contrario sucedió en sitios no raleados recientemente donde el área basal fue mayor predominando la germinación de especies más tolerantes como *C. vernalis* y *A. edulis*. En cuanto al mecanismo de establecimiento por rebrote (capítulo 4) se encontró que únicamente el 18 % de los individuos son originados por este mecanismo. Sin embargo, este mecanismo define la mayor abundancia de algunas especies en la clase de menor tamaño. A pesar del bajo aporte sobre el total de individuos, se determinó que más del 50 % de los individuos de algunas especies son originados por rebrote, mientras que otras especies son establecidas únicamente por semillas. Tanto las frecuencias de germinación y rebrote como las diferencias en las tasas de crecimiento se relacionaron con las distribuciones por clases de tamaño. Diversos trabajos encontraron que la distribución de tamaños de las especies arbóreas refleja diferencias en las tasas de reclutamiento, crecimiento y mortalidad, y refleja diferentes historias de vida (Wright et al. 2003, Kohyama et al. 2015). En este

trabajo, sobre la base de las distribuciones de abundancia por clases de tamaño, las tasas de crecimiento, y la frecuencia de establecimiento por rebrote o germinación se pudieron reconocer grupos de especies con diferentes tendencias de regeneración. En rodales con edades comprendidas en el rango de aplicación más frecuente de los raleos, se observó alta densidad de un grupo de especies que en plantaciones jóvenes o de edad avanzada, sólo se observaron como individuos de las clases de mayor tamaño. Estas especies presentaron tasas de crecimiento alto o medio y baja o nula frecuencia de rebrote. Otro grupo bien diferenciado presentó densidades muy altas de individuos pequeños en rodales jóvenes e intermedio, su crecimiento fue lento y presentaron alta tasa de rebrote. Algunas especies incluidas en los grupos descritos claramente no coincidieron con las características descritas y probablemente se deba al efecto de procesos no estimados en este trabajo como la mortalidad o estimados en pocos rodales como la emergencia por germinación. Pero en términos generales existe una correspondencia entre las distribuciones de tamaños, la tasa de crecimiento y la frecuencia de establecimiento por germinación o rebrote y las tasas de emergencia por germinación. Estas tendencias descritas coinciden con historias de vida conocidas a partir de otros trabajos que clasificaron a estas especies en grupos ecológicos sucesionales (Carvalho 2003, Das Chagas e Silva y Soares-Silva 2000). Estos trabajos indican que el grupo de especies cuyo establecimiento respondió positivamente a los raleos son pioneras o secundarias iniciales mientras que las especies con otras tendencias fueron secundarias iniciales, tardías o climáticas. Entre estas dos, la principal diferencia estaría dada por la baja tasa de crecimiento y la tendencia a establecerse

por rebrote en unas y la mayor tasa de crecimiento y alta frecuencia de establecimiento por germinación en las otras.

Los resultados obtenidos en esta tesis aportan al conocimiento de los procesos de regeneración de árboles nativos en el sotobosque de las plantaciones de *P. taeda*. El estudio permitió definir el comportamiento de los árboles nativos en función de características de los rodales, el efecto de tratamientos silviculturales y de la permanencia de remanentes de bosque nativo en el entorno. Los procesos de establecimiento de árboles nativos en las plantaciones son relevantes en términos de la conservación de especies de la Selva Paranaense particularmente en plantaciones manejadas para obtener madera de calidad, lo cual se contrapone con el concepto de “desierto verde” (Bremer y Farley 2010) que supone la escasa o nula presencia de otras especies en los monocultivos forestales. Plantaciones con este objetivo de producción podrían ser utilizadas como métodos de recuperación de áreas degradadas (Lugo 1992, Parrotta 1997, Lindenmayer et al. 2003). Además, presentan la potencialidad de constituir un sistema de producción de madera nativa en combinación con la producción de pino requiriéndose el desarrollo de una silvicultura de bosque mixto. El aporte de estos procesos se vería garantizado por la aplicación de turnos de corta no menores de 20 años, el manejo con áreas basales inferiores a  $30 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  y manteniendo una proporción mínima entre 25 y 30 % de superficie de bosques nativos en el entorno. El aumento de la diversidad en las plantaciones podría considerarse una estrategia de *land-sharing*, pero si esa estrategia requiere de la permanencia de fragmentos de bosques nativos en el paisaje se acerca a un esquema de *land-sparing*. Existe la confusión en la clasificación como una u otra estrategia queda en parte saldada a partir del

reconocimiento de múltiples escalas espaciales en la aplicación de *land-sparing* (Ekroos et al. 2016) segregando las actividades de conservación en diferentes tamaños de fragmentos que pueden incluir corredores de áreas protegidas de diferente tamaño, cuya conectividad se vea favorecida por el mantenimiento de fragmentos menores en la matriz productiva. En este trabajo se encontró además que las plantaciones manejadas adecuadamente podrían representar ambientes favorables para la vida silvestre, características que actúa sinérgicamente con el mantenimiento de áreas de conservación requeridas por un esquema de *land-sharing* (Kremen 2015).

A pesar de que la vegetación desarrollada en el sotobosque de las plantaciones es eliminada en la cosecha final o “tala rasa”, resulta favorable para diferentes procesos ecológicos, que las plantaciones presenten un sotobosque diverso a lo largo del ciclo de la plantación. A partir de este trabajo pueden plantearse nuevas preguntas relevantes para comprender y mejorar los efectos de la regeneración de árboles nativos en la conservación de la biodiversidad regional. (1) La conservación de especies de árboles a través de su regeneración en plantaciones representa un proceso más efectivo si los individuos que regeneran alcanzan a producir y dispersar semillas. Resulta necesario conocer el tiempo y las condiciones requeridas por diferentes especies para alcanzar la madurez reproductiva. De esta manera, las plantaciones podrían facilitar los procesos de dispersión a través del paisaje. (2) Debería conocerse la relación entre el desarrollo de vegetación nativa bajo las plantaciones y la tasa de uso por parte de diferentes especies animales o grupos ecológicos a través de mediciones directas o indirectas. Esa información permitiría manejar adecuadamente los eventuales servicios de conectividad que las

plantaciones podrían brindar entre remanentes de bosque nativo. (3) La probabilidad de que las especies de árboles nativos presentes en una plantación, vuelvan a establecerse después de la cosecha y replantación, podría depender de la permanencia de semillas y órganos vegetativos en el suelo. Resulta necesario evaluar la posibilidad de una proporción de árboles nativos permanezca después de la cosecha alcanzando la producción de semillas y brindando la posibilidad de ser aprovechado al llegar la siguiente cosecha de pino.

## **CONCLUSIONES**

La regeneración de árboles nativos en las plantaciones de pino de Misiones representa un proceso que podría permitir la persistencia de un alto porcentaje de las especies de árboles del bosque nativo con similares relaciones especies/individuos.

Los procesos de regeneración son altamente dependientes de la disponibilidad de semillas y en consecuencia de los procesos de dispersión, resultando óptimo mantener una proporción entre 25 y 30 % de superficie de bosque nativo a nivel del paisaje.

El turno de corta y el área basal de la plantación resultan sumamente influyentes sobre la composición, riqueza y abundancia de renovales. El mantenimiento de la riqueza de especies en las plantaciones requiere turnos no menores de 20 años y área basal entre 25 y 28 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Estos requerimientos son compatibles con la producción de madera aserrada y/o laminada.

Dadas las condiciones indicadas a nivel del rodal y el paisaje, las plantaciones pueden brindar servicios de provisión de hábitat para animales mientras dure el ciclo de la plantación facilitando procesos de conectividad entre fragmentos de la Selva Paranaense.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrae F. H., Palumbo R., Newton Cardoso Marchiori J., Durlo M. A., 2004. O sub-bosque de reflorestamentos de *Pinus* em sítios degradados da região da floresta estacional decidual do Rio Grande do Sul. *Ciencia Florestal*. 15, 43-63.
- Ares, A., Neill, A.R., Puettmann, K.J., 2010. Understory abundance, species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands. *Forest Ecology and Management*. 260, 1104–1113.
- Aubin I., Messier C., Bouchard A., 2008. Can plantations develop understory biological and physical attributes of naturally regenerated forests?. *Biological Conservation*. 141, 2461–2476.
- Bacalini P. A., Dummel C. J., Burkard R., 2009. Evaluación de resultados sobre la regeneración natural de las especies arbóreas. En: Parque Nacional Iguazú, 33 Conservación y Desarrollo de la Selva Paranaense de Argentina. Ed. Carpinetti, B.; Garciarena, M.; Almirón, M. Argentina, pp 165–180.
- Boyland M., Nelson J., Bunnell F. L., 2004. Creating land allocation zones for forestmanagement: a simulated annealing approach. *Canadian Journal of Forest Research* 34 (8), 1669–1682.
- Bowen M. E., McAlpine C. A., Housec A. P. N., Smithd G. C., 2007. Regrowth forests on abandoned agricultural land: A review of their habitat values for recovering forest fauna. *Biological Conservation*. 140 (3-4), 273–296.
- Bremer L. L., Farley K. A., 2010. Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodiversity and Conservation*. 19, 3893–3915.
- Brockhoff E. G., Ecroyd C. E., Leckie A. C., Kimberley M. O., 2003. Diversity and succession of adventive and indigenous vascular understorey plants in *Pinus radiata* plantation forests in New Zealand. *Forest Ecology and Management*. 185, 307–326.

- Busby P. E., Vitousek P., Dirzo R., 2010. Prevalence of Tree Regeneration by Sprouting and Seeding Along a Rainfall Gradient in Hawai'i. *Biotropica*. 42 (1), 80–86.
- Cabrera A. L., 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. En: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Tomo II, Fascículo 1, Acme, Buenos Aires, Argentina. 85 p.
- Campanello, P.I., 2004. Diversidad, crecimiento y fisiología de árboles en la Selva Misionera: efectos de los cambios en la estructura y funcionamiento del ecosistema producidos por la invasión de lianas y bambúseas. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 152 p.
- Campanello P.I., Gatti M.G., Montti L., Villagra M., Goldstein G., 2011. Ser o no ser tolerante a la sombra: economía de agua y carbono en especies arbóreas del Bosque Atlántico (Misiones, Argentina). *Ecología Austral*. 21, 285–285.
- Carvalho P.E.R., 2003. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília. Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). EMBRAPA Florestas. 1039 p.
- Carlo T. A., García D., Martínez D., Gleditsch J. M., Morales J. M., 2013. Where do seeds go when they go far? Distance and directionality of avian seed dispersal in heterogeneous landscapes. *Ecology*. 94 (2), 301–307.
- Chapman C. A., Chapman L. J., 1996. Exotic tree plantations and the regeneration of natural forest in Kibale National Park, Uganda. *Biological Conservation*. 76, 253–257.
- Chazdon R. L., Letcher S. G., Van Breugel M., Martinez-Ramos M., Bongers F., Finegan B., 2007. Rates of change in tree communities of secondary Neotropical forests following major disturbances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*. 362, 273 – 289.
- Chen Y., Cao Y., 2014. Response of tree regeneration and understory plant species diversity to stand density in mature *Pinus tabulaeformis* plantations in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*. 73, 238-245.

- Chao A. Ma. K. H. and Hsieh, T. C., 2016. iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online. Program and User's Guide published at [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/)
- Condit R., Sukumar R., Hubbell S. P., Foster R. B., 1998. Predicting Population Trends from Size Distributions: A Direct Test in a Tropical Tree Community. *The American Naturalist*. 152 (4), 495–509.
- Cramer J. M., Mesquita R. C. G., Williamson G. B., 2007. Forest fragmentation differentially affects seed dispersal of large and small-seeded tropical trees. *Biological Conservation*. 137 (3), 415–423.
- Crechi E., Hennig A., Keller A., Hampel H., Domecq C., Eibl B., 2010. Crecimiento de 3 especies latifoliadas nativas a cielo abierto y bajo dosel de pino hasta los 12 años de edad, en Misiones Argentina (*Cordia trichotoma* (vell.) arrab. ex steudel, *Balfourodendron riedelianum* (engl.) engl., *Enterolobium contortisiliquum* (vell.) morong.). 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 10, 11 y 12 de Junio de 2010 - Eldorado, Misiones, Argentina.
- Das chagas e Silva F., Soares-Silva L. H., 2000. Arboreal flora of the godoy forest statepark, Londrina, Pr. Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*. 57 (1), 107–120.
- Di Bitetti M., Placci G., Dietz L., 2003. Una visión de biodiversidad para la ecoregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná: Diseño de un Paisaje para la Conservación de la Biodiversidad y prioridades para las acciones de conservación. Washington, D.C., USA. World Wildlife Fund. 156 p.
- Drozd A. A., 2011. Dinámica espacial y temporal de la estructura del paisaje dell valle de cuna pirú y sus alrededores, Misiones, en relación al uso de la tierra. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata.
- Dummel C. J., Pinazo M. A., 2013. Efectos de variables de paisaje y de rodal sobre la diversidad de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones de *Pinus taeda* en la provincia de Misiones, Argentina. *Bosque*. 34 (3), 331–342.

- Easdale T. A., Healey J. R., Grau H. R., Malizia A., 2007. Tree life histories in a montane subtropical forest: species differ independently by shade-tolerance, turnover rate and substrate preference. *Journal of Ecology*. 95, 1234-1249.
- Ekroos J., Ödman A. M., Andersson G. S., Birkhofer K., Herbertsson L., Klatt B. K., Olsson O., Olsson P. A., Persson A. S., Prentice H. C., Rundlöf M., Smith H. G., 2016. Sparing Land for Biodiversity at Multiple Spatial Scales. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 3, 145 1-11.
- FAO, 2010. Global forests resources assessment. Main report. FAO Forestry Paper 163. Rome. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>. Acceso: 29 de Noviembre de 2016.
- Ferretti A. R., Kageyama P. Y., Árboez G. F., Santos J. D., Barros M. I. A., Lorza R. F., Oliveira C., 1995. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no estado de São Paulo. *Florestar Estatístico*. 3 (7), 73-77.
- Fischer J., Brosi B., Gretchen C. D., Ehrlich P. R., Goldman R., Goldstein J., Lindenmayer D. B., Manning A. D., Mooney H. A., Pejchar L., Ranganathan J., Tallis H., 2008. Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming?. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 6 (7), 380–385.
- Font Quer P., 1982. *Diccionario de Botánica*. Ed. Labor. Buenos Aires. 1244 p.
- Fortin M. J., Gurevitch J., 1993. Mantel Tests: Spatial Structure in Field Experiments. In SM Scheiner, J Gurevitch (eds.), *Design and Analysis of Ecological Experiments*. 342–359.
- Frazer G. W., Canham C.D., Lertzman K.P., 1999. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging Software to Extract Canopy Structure and Gap Light Transmission Indices From True-Colour Fisheye Photographs, User's Manual and Program Documentation Copyright 1999. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia. The Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.

- Gachet S., Leduc A., Bergeron Y., Nguyen-Xuan T., Tremblay F., 2007. Understory vegetation of boreal tree plantations: Differences in relation to previous land use and natural forests. *Forest Ecology and Management*. 242, 49–57.
- Gilroy J. J., Edwards F. A., Medina Uribe C. A., Haugaasen T., Edwards D. P., 2014. Surrounding habitats mediate the trade-off between land-sharing and land-sparing agriculture in the tropics. *Journal of Applied Ecology*. 51, 1337–1346.
- Giorgis A. M., Cingolani A. M., Gurvich D. E., Reynero N., Rufini S., 2005. Diferencias en la estructura de la vegetación del sotobosque entre una plantación de *Pinus taeda* L. (Pinaceae) y un matorral serrano (Cuesta Blanca, Córdoba). *Kurtziana*. 31 (1-2), 39-49.
- Gotelli N. J., Colwell R. K., 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*. 4, 378-391.
- Goya J., Sandoval M., Arturi M., Burns S., Russo F., Santaca M., Azcona M., Sañudo M., 2010. Plan de manejo forestal del Campo Anexo Manuel Belgrano perteneciente a EEA Montecarlo de INTA, Misiones. Unidad ejecutora: LISEA.
- Grau H., Arturi M., Brown A., Aceñolaza P., 1997. Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in Argentinean subtropical montane forests. *Forest Ecology and Management*. 95, 161–171.
- Guo L. B., Gifford R. M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*. 8, 345–360.
- Haining R. 1993. *Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hartmann H., Daoust G., Bigué B., Messier C., 2010. Negative or positive effects of plantation and intensive forestry on biodiversity: A matter of scale and perspective. *The Forestry Chronicle*. 86 (3), 354–364.

- Hewitt N., Kellman M., 2002. Tree seed dispersal among forest fragments: II. Dispersal abilities and biogeographical controls. *Journal of Biogeography*. 29, 351-363.
- Holz S., 2007. Patrones de cambios durante la recuperación de la vegetación en campos agropecuarios abandonados del Bosque Atlántico del Alto Paraná. Tesis Doctoral Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Holz S., Placci G., 2008. El desafío de las restauraciones en paisajes poblados: un enfoque multidisciplinar en Misiones. En: Gonzalez-Espinosa, M.; Rey-Benayas, J. M.; Ramirez-Marcial, N. (Eds.). *Restauración de bosques en América Latina*. Mundi-prensa, México. 163–179.
- Holz S., Placci G., Quintana R. D., 2009. Effects of history of use on secondary forest regeneration in the Upper Parana Atlantic Forest (Misiones, Argentina). *Forest Ecology and Management*. 258, 1629-1642.
- IBODA 2016. Instituto de Botánica Darwinion, IBODA-CONICET. [www.darwin.edu.ar/](http://www.darwin.edu.ar/). Acceso: marzo de 2016.
- Islam K. R., Weil R. R., 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 79 (1), 9-16.
- Ito S., Nakayama R., Buckley G. P., 2004. Effects of previous land-use on plant species diversity in semi-natural and plantation forest in a warm-temperate region in southeastern Kyushu, Japan. *Forest Ecology and Management*. 196, 213–225.
- Jongman R. H. G., Ter Braak, Van Tongeren O. F. R. 1995. *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge University Press. 299 p.
- Judd T.S., Attiwill P.M., Adams M.A., 1996. Nutrient concentrations in Eucalyptus: Asynthesis in relation to differences between taxa, sites and components, in: Attiwill P.M., Adams M.A. (Eds.), *Nutrition of Eucalypts*, CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 123–153.

- Kammesheidt L., 1998. The role of tree sprouts in the restoration of stand structure and species diversity in tropical moist forest after slash-and-burn agriculture in Eastern Paraguay. *Plant Ecology*. 139, 155–165.
- Keenan R., Lamb D., Woldring O., Irvine T., Jensen R., 1997. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in Northern Australia. *Forest Ecology and Management*. 99, 117–131.
- Kenji Seiwa, Etoh Y., Hisita M., Masaka K., Imaji A., Ueno N., Hasegawa Y., Konno M., Kanno H., Kimura M., 2012. Roles of thinning intensity in hardwood recruitment and diversity in a conifer, *Cryptomeria japonica* plantation: A 5-year demographic study. *Forest Ecology and Management*. 269, 177–187.
- Koh I., Reineking B., Park C., Lee D., 2015. Dispersal potential mediates effects of local and landscape factors on plant species richness in maeulsoop forests of Korea. *Journal of Vegetation Science*. 26, 631–642.
- Kohyama T. S., Potts M. D., Kohyama T. I., Kassim A. R., Ashton P. S., 2015. Demographic Properties Shape Tree Size Distribution in a Malaysian Rain Forest. *The American Naturalist*. 188 (3), 367–379.
- Kremen, C., 2015. Reframing the land sparing/land sharing debate for biodiversity conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1355 (1), 52-76.
- Lee E. W. S., Hau B. C. H., Corlett R. T., 2005. Natural regeneration in exotic tree plantations in Hong Kong, China. *Forest Ecology and Management*. 212, 358–366.
- Liang J., Crowther T. W., Picard N., Wiser S., Zhou M., Alberti G., Schulze E., McGuire A. D., Bozzato F., Pretzsch H., De-Miguel S., Paquette A., Hérault B., Scherer-Lorenzen M., Barrett C. B., Glick H. B., Hengeveld G. M., Nabuurs G., Pfautsch S., Viana H., Vibrans A. C., Ammer C., Schall P., Verbyla D., Tchebakova N., Fischer M., Watson J. V., Chen H. Y. H., Lei X., Schelhaas M., Lu H., Gianelle D., Parfenova E. I., Salas C., Lee E., Lee B., Kim H. S., Bruelheide H., Coomes D. A., Piotta D., Sunderland T., Schmid B., Gourlet-Fleury S., Sonké B., Tavani R., Zhu J., Brandl S., Vayreda J., Kitahara F., Searle E. B., Neldner V. J., Ngugi M. R., Baraloto C., Frizzera L., Balazy R., Oleksyn J., Zawila-

- Niedźwiecki T., Bouriaud O., Bussotti F., Finér L., Jaroszewicz B., Jucker T., Valladares F., Jagodzinski A. M., Peri P. L., Gonmadje C., Marthy W., O'Brien T., Martin E. H., Marshall A. R., Rovero F., Bitariho R., Niklaus P. A., Alvarez-Loayza P., Chamuya N., Valencia R., Mortier F., Wortel V., Engone-Obiang N. L., Ferreira L. V., Odeke D. E., Vasquez R. M., Lewis S. L., Reich P. B., 2016. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*. 354, aaf8957. DOI: 10.1126/science.aaf8957 (En prensa).
- Ligier H. D., 2000. Caracterización geomorfológica y edáfica de la provincia de Misiones, Informe para Fundación Vida Silvestre Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Corrientes.
- Ligier H. D., Matteio H. R., Polo H. L., Rosso J. R., 1990. Provincia de Misiones. En: Atlas de suelos de la República Argentina, Tomo II. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Proyecto PNUD Arg. 85/019. INTA, Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. pp 111–154.
- Lindenmayer D., Hobbs R., Salt D., 2003. Plantation forests and biodiversity conservation. *Australian Forestry*. 66, 62–66.
- Lion M. B., Garda A. A., Fonseca C. R., 2014. Split distance: a key landscape metric shaping amphibian populations and communities in forest fragments. *Diversity and Distributions*. 20 (11), 1245-1257.
- Loumeto J. J., Huttel C., 1997. Understory vegetation in fast-growing tree plantations on savanna soils in Congo. *Forestry Ecology and Management*. 99, 65–81.
- Loumeto J., Bernhard-Reversat F., 2001. En Effect of Exotic Tree Plantations on Plant Diversity and Biological Soil Fertility in the Congo Savanna: with special reference to Eucalypts. Editor F. Bernhard- Reversat. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia. 31-38.
- Lugo A. E., 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forests of similar age. *Ecological Monographs*. 62(1), 1–41.
- Magurran A. E., 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, U.S.A. 192 p.

- Magurran A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford.
- MAPN (Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación Argentina), 2016. Superficies forestadas en la República Argentina por provincia y grupo de especies <https://datos.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=ForestalProduccion>. Acceso: 9 de Noviembre de 2016.
- MEyRNR (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de la provincia de Misiones), 2016. Ecología y desarrollo sustentable. <http://www.ecologia.misiones.gov.ar/ecoweb/index.php/anp-descgen/sistema-de-areas-naturales-protegidas>. Acceso: 3 de Diciembre de 2016.
- Mills A., Fey M., 2003. Declining soil quality in South Africa: effects of land use on soil organic matter and surface crusting. *South African Journal of Plant and Soil*. 99, 429–36.
- Montti L., Villagra M., Campanello P. I., Gatti M. G., Goldstein G., 2014. Functional traits enhance invasiveness of bamboos over co-occurring tree saplings in the semideciduous Atlantic Forest. *Acta Oecologica*. 54, 36–44.
- Moscovich F. A., Dummel C., Pinazo M., Knebel O., Alcaraz R., 2010. Análisis fitosociológico de un remanente de selva misionera secundaria en Misiones, Argentina. Fitosociological analysis of forest remainder in Misiones, Argentina. 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 10, 11 y 12 de Junio de 2010 - Eldorado, Misiones, Argentina.
- Mundry R., Nunn C. L., 2009. Stepwise model fitting and statistical inference: Turning noise into signal pollution. *The American Naturalist*. 173, 119–123.
- Myers N., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403, 853-858.
- Nájera A., Simonetti J. A., 2006. Enhancing avifauna in commercial plantations. *Conservation Biology*. 24 (1), 319–324.

- Norton D. A., 1998. Indigenous Biodiversity Conservation and Plantation Forestry: Options for the future. *New Zealand Journal of Forestry*. 43 (2), 34–39.
- Nosetto M., Jobbágy E., Paruelo J., 2005. Land use change and water losses: The case of grassland afforestation across a soil textural gradient in Central Argentina. *Global Change Biology*. 11, 1101-1117.
- Oksanen, J.; Blanchet, F. G.; Kindt, R.; Legendre, P.; Minchin, P. R; O'Hara, R. B.; Simpson, G. L.; Solymos, P. M.; Stevens, H. H.; Wagner, H.; 2013. *vegan: Community Ecology*. Package. R package version 2.0-10. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Onaindia M., Mitxelena A., 2009. Potential use of pine plantations to restore native forests in a highly fragmented river basin. *Annals of Forest Science*. 66, 305 1-8.
- Otto R., García-del-Rey E., Méndez J., Fernández-Palacios J. M., 2012. Effects of thinning on seed rain, regeneration and understory vegetation in a *Pinus canariensis* plantation (Tenerife, Canary Islands). *Forest Ecology and Management* . 280, 71–81.
- Parrotta J., Knowles O., Wunderle J., 1997. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 99, 21-42.
- Perfecto I., Vandermeer J., 2012. Separación o integración para la conservación de biodiversidad: la ideología detrás del debate "land-sharing" frente a "land-sparing". *Ecosistemas*. 21 (1-2), 180-191.
- Phalan B., Onial M., Balmford A., Green R. E., 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*. 333, 1289–1291.
- Pinazo M., Moscovich F., Keller H., 2008. Efecto de la intensidad y frecuencia de raleos sobre la diversidad vegetal del sotobosque en plantaciones de *Araucaria angustifolia* en el norte de Misiones, Argentina. 11as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNAM – EEA Montecarlo, INTA.

- Placci L. G., Di Bitetti M. S., 2006. Situación ambiental en la Ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (Selva Paranaense). En: La Situación Ambiental Argentina. Eds. Brown A., Martínez Ortiz U., Acerbi M., Corcuera J. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. pp 197-210.
- Poorter L., Kitajima K., Mercado P., Chubiña J., Melgar I., Prins H. H., 2010. Resprouting as a persistence strategy of tropical forest trees: relations with carbohydrate storage and shade tolerance. *Ecology*. 91(9), 2613-2627.
- Richards J.A., Jia X., 1999. Remote Sensing and Digital Image Analysis: An Introduction. Springer - Verlag, Berlin. 439 p.
- Riegelhaupt E., Bacalini P., Arias Chalico T., Mora Ardila F., Burkart R., 2009. Evaluación de resultados de mortalidad, reclutamiento y crecimiento a siete años de aplicados los tratamientos de manejo. En: Parque Nacional Iguazú, 33 Conservación y Desarrollo de la Selva Paranaense de Argentina. Ed. Carpinetti B., Garcarena M., Almirón M.. Argentina, pp 147–164.
- Selwyn M. A., Ganesan R., 2009. Evaluating the potential role of Eucalyptus plantations in the regeneration of native trees in southern Western Ghats, India. *Tropical Ecology*. 50 (1), 173–189.
- Senbeta F., Demel T., 2001. Regeneration of indigenous woody species under the canopies of tree plantations in Central Ethiopia. *Tropical Ecology*. 42, 175-185.
- Senbeta F., Teketay D., Näslund B., 2002. Native woody species regeneration in exotic tree plantations at Munessa-Shashemene forest, southern Ethiopia. *New Forests*. 24, 131–145.
- SIFIP 2010. Sistema de información foresto–industrial provincial. Ministerio del Agro y la Producción, provincia de Misiones, República Argentina. <http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/inventario>. Acceso: 15 de Junio de 2013.
- Silva L. N., 2014. New Generation Plantations, what future role towards sustainability?. WWF International, New Generation Plantations platform. 119–129.

- Simonetti J. A., Grez A. A., Estades C. F., 2013. Providing habitat for native mammals through understory enhancement in forestry plantations. *Conservation Biology*. 27 (5), 1117–1121.
- Soil Survey Staff, 1992. *Keys to Soil Taxonomy*, fifth ed. SMSS Technical Monograph no. 19, Pocahontas Press Inc., Blacksburg, VA, USA. 541 p.
- Stephens S. S., Wagner M. R., 2007. Forest plantations and biodiversity: A fresh perspective. *Journal of Forestry*. 105 (6), 307–313.
- Tabarelli M., Cardoso Da Silva J. M., Gascon C., 2004. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. *Biodiversity and Conservation*. 13, 1419–1425.
- Trentini C. P., Campanello P. I., Villagra M., Ritter L., Ares A., Goldstein G., 2017. Thinning of loblolly pine plantations in subtropical Argentina: Impact on microclimate and understory vegetation. *Forest Ecology and Management*. 384, 236–247.
- Turner J., Lambert M.J., 1983. Nutrient cycling within a 27-year-old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales. *Forest Ecology and Management*. 6, 155-168.
- USGS 2013. United States Geological Survey. <https://glovis.usgs.gov/>. Acceso: año 2013.
- Vaccaro S., Arturi M., Goya J., Frangi J., Piccolo G., 2003. Almacenaje de carbono en estadios de la sucesión secundaria en la provincia de Misiones. *Interciencia*. 28, 521-527.
- Vespa N. I., Zurita G., Bellocq M. I., 2014. Functional responses to edge effects: Seed dispersal in the southern Atlantic Forest, Argentina. *Forest Ecology and Management*. 328, 310–318.
- Vesk P. A., Westoby M., 2004. Sprouting ability across diverse disturbances and vegetation types worldwide. *Journal of Ecology*. 92, 310–320.

- Villagra, M., 2012. Plasticidad morfológica y fisiológica de especies arbóreas del Bosque Atlántico en respuesta a cambios en la disponibilidad de luz y nutrientes. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 139 p.
- Villagra M., Campanello P. I., Montti L., Goldstein G., 2013. Removal of nutrient limitations in forest gaps enhances growth rate and resistance to cavitation in subtropical canopy tree species differing in shade tolerance. *Tree Physiology*. 33, 285–296.
- von Wehrden H., Abson D. J., Beckmann M., Cord A. F., Klotz S., Seppelt R., 2014. Realigning the land-sharing/land-sparing debate to match conservation needs: considering diversity scales and land use history. *Landscape Ecology*. 29 (6), 941–948.
- Wang J., Borsboom A. C., Smith G. C., 2004. Flora diversity of farm forestry plantations in southeast Queensland. *Ecological Management y Restoration*. 5 (1), 43–51.
- Whitmore, T. C., 1996. A review of some aspects of tropical forest seedling ecology with suggestion for further enquiry. En: *The ecology of tropical forest tree seedlings* (ed. Swaine, M.D.), pp. 3-39 MAB UNESCO Series, vol. 17, Parthenon, Paris.
- Wright S. J., Muller-landau H. C., Condit R., Hubbell S. P., 2003. Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology*. 84 (12), 3174–3185.
- Zamora R., Hódar J. A., Matías L., Mendoza I., 2010. Positive adjacency effects mediated by seed disperser birds in pine plantations. *Ecological Applications*. 20 (4), 1053–1060.
- Zurita G. A., 2008. El uso de la tierra como determinante de patrones espaciales de abundancia y diversidad de aves. Tesis Doctoral Universidad Nacional de Buenos Aires.