



UNSE

Universidad Nacional
de Santiago del Estero

Crecimiento del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy en distintas situaciones estructurales



Cristian Ariel Humano

TESIS DOCTORAL

Facultad de Ciencias Forestales

Santiago del Estero, Argentina
2022



Humano, Cristian Ariel

Crecimiento del bosque chaqueño semiárido de Jujuy en distintas situaciones estructurales : Tesis doctoral : Facultad de Ciencias Forestales : Universidad Nacional de Santiago del Estero / Cristian Ariel Humano. - 1a ed. - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8922-05-8

1. Bosques Nativos. 2. Especies Forestales Nativas. 3. Ecosistemas. I. Título.
CDD 581.73



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO
Facultad de Ciencias Forestales



Crecimiento del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy en distintas situaciones

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS FORESTALES

POR

Cristian Ariel Humano

Ing. Agronomo
Universidad Nacional de Jujuy - 2000

Director de tesis: **Dr. Publio Araujo**
Codirector: **Dr. Guido Lorenz**

Santiago del Estero, Argentina.
Año 2022



TÉRMINO DE APROBACIÓN

TESIS DOCTORAL

En la ciudad de Santiago de Estero, a los 25 días de febrero de 2022, siendo las 10:00 horas, se reúne en forma virtual, mediante el uso de medios tecnológicos sincrónicos, el Tribunal de Tesis, constituido por los profesores: Dr. Iván Crespo (Universidad Federal de Paraná, Brasil-UFPR), Dr. Juan M. Cellini (Universidad Nacional De la Plata – UNLP, y Universidad Nacional de Catamarca-UNCa), y Dr. Miguel Brassiolo (Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE), para evaluar la Tesis Doctoral del Mg. Ing. Agr. Cristian Ariel Humano, DNI 22.820.650, en la Defensa de Tesis Doctoral, convocada mediante Resolución FCF N° 424/2021.

La Tesis, desarrollada en el marco de la carrera del Doctorado en Ciencias Forestales, se titula "Crecimiento del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy en distintas situaciones estructurales", y fue dirigida por el Dr. Publio Araujo (Universidad Nacional de Santiago del Estero).

Después de evaluar la Tesis e interrogar al doctorando, el Jurado deliberó por la APROBACIÓN, con la calificación 10 (DIEZ).

JURADO DE TESIS

IVAN CRESPO
SILVA:04377206249

Accionado de firma digital por
IVAN CRESPO
SE VA04377206249
Fecha: 20/2/2022 13:17:55:11
0,308F

Firma

Dr. Iván Crespo

Firma

Dr. Juan M. Cellini

Firma

Dr. Miguel Brassiolo

A Dios, a mi hija Candelaria, a mis padres y a mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a mi director Dr. Publio Alejandro Araujo, por la constante predisposición a dilucidar mis dudas y planteos; y por haber esclarecido la idea para la generación de esta tesis.

Destaco el apoyo brindado por las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Jujuy (Unju) y de sus docentes.

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y, a las Autoridades y personal administrativo de la Dirección de Posgrado FCF-UNSE por la buena predisposición a mis constantes consultas

Y a todas aquellas personas que siempre me dieron aliento, ganas y compañía.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo		Página
	Dedicatoria.....	
	Agradecimientos.....	
	Índice General.....	
	Índice de tablas.....	
	Índice de Figuras.....	
	Declaración.....	
	Abreviaturas.....	
	RESUMEN.....	
	ABSTRACT.....	
1	Introducción.....	1
2	Revisión bibliográfica.....	5
2.1	Áreas boscosas de la Provincia de Jujuy.....	5
2.1.1	Estructura arbórea del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy.....	7
2.2	Pérdida de los recursos forestales en la Región.....	11
2.3	Legislación-Disposiciones normativas Nacionales y Provinciales.....	12
2.4	Estado de Conservación y Perspectivas futuras.....	14
2.5	Manejo silvícola y la tendencia actual.....	16
2.5.1	Distribución diamétrica y distribución balanceada.....	19
2.5.2	Proyección de la distribución diamétrica de bosques nativos del Chaco Semiárido.....	21
2.6	Estudios realizados en Argentina.....	22
2.7	Problema de investigación.....	24
2.8	Fundamentación del tema propuesto.....	25
2.9	Estructura de la tesis.....	26
3	Material y método.....	27
3.1	Área de estudio.....	27
3.2	Características particulares del área de estudio.....	28

3.3	Sectorización del área de trabajo.....	29
3.4	Obtención de los datos.....	33
3.5	Estudio del crecimiento.....	34
3.5.1	Estimación del crecimiento diamétrico.....	34
3.5.2	Modelado del crecimiento.....	36
3.5.3	Diferencias de crecimiento.....	34
3.5.4	Diversidad entre Sectores (BI-BSI).....	37
3.6.	Estudio de la regeneración.....	37
3.6.1	Diseño del muestreo.....	37
3.6.2	Toma de datos.....	38
3.6.3	Análisis de los datos.....	39
3.6.3.1	Análisis estructural de la regeneración.....	39
3.6.3.1.1	Abundancia.....	39
3.6.3.1.2	Frecuencia.....	39
3.6.3.1.3	Clases de tamaño de la regeneración.....	40
3.6.3.2	Análisis de la distribución espacial de la regeneración.....	42
3.6.3.2.1	Análisis de los datos.....	42
3.6.3.3	Diversidad entre Sectores (BC-BI).....	41
3.7	Competencia.....	43
3.7.1	Determinación de los Índices de competencia.....	43
3.7.1.1	Índices independientes de la distancia.....	44
3.7.1.2	Índices dependientes de la distancia.....	46
3.7.1.2.1	Elección del árbol competidor.....	46
3.7.1.3	Relación entre competencia y crecimiento.....	48
3.8	Proyección del crecimiento y producción.....	51
3.8.1	Proyecciones del bosque bajo distintos tipos de manejo forestal.....	48
4	Resultados	55
4.1	Crecimiento.....	55
4.1.1	Estimación del crecimiento diamétrico.....	55
4.1.2	Modelado del crecimiento.....	58
4.1.3	Diferencias de crecimiento.....	59
4.1.4	Diversidad entre Sectores (BI-BSI).....	64

4.2	Regeneración natural.....	64
4.2.1	Abundancia.....	64
4.2.2	Frecuencia.....	66
4.2.3	Clases de tamaño.....	67
4.2.4	Índice Regeneración natural relativa.....	69
4.2.5	Patrón de distribución.....	71
4.2.5.1	Patrón de distribución de la regeneración en BI.....	71
4.2.5.2	Patrón de distribución de la regeneración en BC.....	73
4.2.6	Diversidad entre Sectores (BC-BI).....	74
4.3	Competencia.....	75
4.3.1	Índices independientes de la distancia.....	75
4.3.2	Índices dependientes de la distancia.....	75
4.4	Proyección del crecimiento y producción.....	80
4.4.1	Proyección con distintas situaciones de manejo.....	83
4.4.1.1	Bosque con tratamiento de liberación.....	83
4.4.1.2	Bosque con tratamiento de aprovechamiento según DMC.....	86
4.4.1.3	Bosque con tratamiento de aprovechamiento según AFC.....	88
4.4.2	Comparación de los distintos sistemas de manejo planteados.....	89
4.4.3	Distribución balanceada de los distintos tratamientos.....	90
5	Discusión de los resultados.....	94
5.1	Crecimiento.....	94
5.2	Regeneración.....	97
5.3	Competencia.....	102
5.4	Proyección del crecimiento y producción.....	104
6	Conclusiones.....	111
	Recomendaciones.....	114
7	Bibliografía.....	115

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Superficie áreas boscosas de la Provincia de Jujuy.....	6
2	Composición florística de especies de la Cuenca Los Pericos- Manantiales.....	7
3	Parámetros Estructurales Bosque Chaqueño Cuenca Perico-Manantiales, Jujuy.....	9
4	Distribución de ind./ha, AB y cobertura por clase diamétrica Bosque Chaqueño de Jujuy.....	10
5	Reducción de la superficie de bosques nativos de la Argentina.....	11
6	Diámetros mínimos de corta (DMC) de las especies nativas de valor forestal.....	17
7	Clasificación de frecuencias absolutas.....	41
8	Estructura de la base de datos dinámica.....	51
9	Clase de frecuencias de los IPMA's (mm/año) de las especies.....	55
10	Cálculo de los "tiempos de paso" para los árboles de BI y BSI.....	57
11	Tiempo estimado (años) en lograr el Diámetro Mínimo de Corta (DMC)...	59
12	Comparación de los IPMA's (cm/año) entre los tipos de bosques.....	60
13	Comparación de los IPMA's (cm/año) en cada tipo de bosque según las clases diamétricas.....	61
14	Comparación de los IPMA's (cm/año) de los individuos de cada tipo de bosque según la posición vertical.....	61
15	Comparación de IPMA (cm/año) entre las especies según su tolerancia.	61
16	Comparación de los IPMA's (cm/año) de los individuos entre los tipos de bosque según la tolerancia de las especies.....	62
17	Comparación de los IPMA's (cm/año) de las especies de valor forestal en BI.....	62
18	Comparación de los IPMA's (cm/año) de las especies de valor forestal en BSI.....	63
19	Comparación de los IPMA's (cm/año) entre especie según el tipo de Bosque.	63
20	Índices de Similitud/Disimilitud entre BI-BSI.....	64

21	Número de individuos de la regeneración natural de las especies arbóreas en BI.....	65
22	Número de individuos de la regeneración natural de las especies arbóreas en BC.....	65
23	Frecuencia Absoluta y Relativa de la regeneración en BI.....	66
24	Frecuencia Absoluta y Relativa de la regeneración en BC.....	66
25	Número de ind./ha por clases de tamaño de la regeneración natural en BI.....	67
26	Valor fitosociológico para cada clase de tamaño en BI.....	67
27	Clases de tamaño para la regeneración natural en BI.....	68
28	Número de ind./ha por clases de tamaño de la regeneración natural en BC.....	68
29	Valor fitosociológico para cada clase de tamaño en BC.....	69
30	Clases de tamaño para la regeneración natural en BC.....	69
31	Clases de frecuencia de las especies en BI.....	70
32	Clases de frecuencia de las especies en BC.....	70
33	Comparación de la abundancia de la regeneración según tipo de bosque	71
34	Comparación de la abundancia del tamaño de la regeneración según cada tipo de bosque.....	71
35	Prueba de U para la abundancia entre tipos de bosque.....	71
36	Índices de Similitud/Disimilitud entre BC-BI.....	74
37	Coeficientes de regresión lineal de las especies de interés.....	75
38	Índices de competencia de las especies de interés forestal.....	75
39	Correlación entre el tamaño (DAP) de las especies y los índices de competencia.....	76
40	Relación entre la posición vertical de los individuos con los índices y el crecimiento diamétrico de los individuos.....	76
41	Coeficiente de correlación (R^2) del ajuste de regresión de los pares de valores IMA-Índice de competencia.....	78
42	Valores de VIF de las variables predictoras del modelo lineal por especie de valor forestal.....	79
43	Evolución del volumen de BSI en el período determinado.....	82

44	Comparación de los distintos tratamientos.....	90
----	--	----

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución diamétrica y del AB del Bosque Chaqueño de la Cuenca Perico-Manantiales, Jujuy.....	9
2	Ubicación área de estudio.....	29
3	Fotografía del bosque en el área de conservación.....	31
4	Fotografía del bosque intervenido sin clausura.....	32
5	Fotografía del bosque sin intervención y sin clausura.....	32
6	Ubicación de las parcelas de regeneración.....	38
7	Zona de influencia.....	47
8	Proyección de la distribución diamétrica del bosque.....	50
9	Diagrama de dispersión de los pares de valores (IPMA, DAP) de los árboles individuales, según el tipo de Bosque.....	56
10	Crecimientos periódicos promedios anuales (CPA) (cm/año) por clase diamétrica, según tipo de bosque.....	56
11	Curvas de crecimiento DAP (cm) vs Años; de las especies de mayor valor forestal.....	59
12	Gráfico de Q-Q plots de la distribución normal de datos.....	60
13	Índice de regeneración natural de las especies de valor forestal en cada tipo de bosque.....	69
14	Patrón de distribución simulado de la regeneración natural en BI.....	72
15	Patrones simulados mediante K de Ripley para BI....	73
16	Patrón de distribución simulado de la regeneración natural en BC.....	73
17	Patrones simulados mediante K de Ripley en BC.....	74
18	Correlación tamaño de los individuos y Índices (Daniels-Heygi).....	76
19	Diagrama de dispersión de los pares de valores (IPMA, Índice de Heygi) de las especies de valor forestal.....	77
20	Diagrama de dispersión de los pares de valores (IPMA, Índice de Daniels) de las especies de valor forestal.....	77

21	Distribuciones diamétricas en los diferentes años del periodo 2015-2035	81
22	Evolución del AB (m^2/ha) en el período determinado.....	82
23	Volumen aprovechable (m^3/ha) acumulado en el período considerado..	83
24	Proyección de las distribuciones diamétricas con el tratamiento de liberación	84
25	Evolución del AB (m^2/ha) con el tratamiento de liberación.....	85
26	Volumen aprovechable (m^3/ha) acumulado con el tratamiento de liberación.....	85
27	Proyección de las distribuciones diamétricas con el tratamiento según DMC.....	86
28	Evolución del AB (m^2/ha) con el tratamiento según DMC.....	87
29	Volumen aprovechable (m^3/ha) acumulado con el tratamiento según DMC.....	87
30	Proyección de las distribuciones diamétricas con el tratamiento según AFC.....	88
31	Evolución del AB (m^2/ha) con el tratamiento según AFC.....	89
32	Volumen aprovechable (m^3/ha) acumulado con el tratamiento según AFC.....	89
33	Proyección del bosque sometido a los distintos tratamientos.....	90
34	Distribución del AB proyectada y balanceada en BSI liberado.....	92
35	Distribución del AB proyectada y balanceada en BSI aprovechado según DMC.....	92
36	Distribución del AB proyectada y balanceada en BS5 aprovechado según AFC.....	93
37	Distribución de los individuos por clase diamétrica y de los crecimientos por clase de diámetro (curva sigmoidea) en un tratamiento de AFC.....	109

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



Ing. Agr. Cristian Ariel Humano

DNI 22820650

Abreviaturas:

AFC: árbol de futura cosecha

Art.: artículo

BC: Bosque en Conservación

BSI: Bosque Sin Intervención

BI: Bosque Intervenido

CIC: Capacidad de intercambio catiónico

CPA: Crecimiento periódico medio anual

DAP: Diámetro altura al Pecho

DMC: Diámetro Mínimo de Corta

ha: Hectárea

Ind./ha: Individuos por hectárea

IPMA: Incremento periódico medio anual

SSP: Sistemas Silvopastoriles

RESUMEN

El Bosque Chaqueño Semiárido es un ecosistema de gran biodiversidad en la Argentina. Su explotación forestal fue intensa debido a su relieve de pendiente suave, cercanía a centros urbanos y a la creciente demanda de productos madereros causando una gran fragmentación y comprometiendo su resiliencia. La sustentabilidad de su manejo se basa en el conocimiento del crecimiento y la dinámica poblacional de sus especies; y la proyección en el tiempo de su evolución. Los objetivos planteados fueron definir las curvas y tasas de crecimientos, analizar la estructura y distribución espacial de la regeneración, determinar la influencia de la competencia arbórea sobre el crecimiento y, proyectar la evolución del Bosque en distintas situaciones de manejo. El trabajo se realizó en el Campo Experimental “Dr. Emilio Navea” (24° 21’ 8” S; 65° 11’ 28” O), de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNJu. Se instalaron parcelas permanentes, donde se etiquetaron y midieron los individuos mayores a 10 cm de diámetro altura al pecho (DAP). La instalación de las parcelas fue en el año 2009 y se remidieron en 3 oportunidades. Los datos de crecimiento muestran que las especies con mayores incrementos son *Anadenanthera colubrina var cebil* y *Parapiptadenia excelsa* resultando el tiempo estimado en lograr sus diámetros mínimos de corta (DMC) de 27 y 35 años respectivamente. La regeneración dominante corresponde a *Schinopsis lorentzii*, *A. colubrina*, *P. excelsa* y *Caesalpinia paraguariensis*, además se encontró que los disturbios afectan al patrón de distribución de la regeneración. Se estimó que la competencia arbórea tiene incidencia en el crecimiento de las especies. La reducción de la densidad del bosque favorece los incrementos diamétricos de los individuos. La proyección del bosque demuestra que un aprovechamiento forestal realizado con las condiciones técnicas y DMC vigentes, no recupera en un período de 20 años el volumen aprovechado.

Palabras claves: Bosque Chaqueño Semiárido, manejo forestal, crecimiento, competencia, dinámica,

ABSTRACT

The Chaco Forest represents an ecosystem of great biodiversity in Argentina. Its harvesting was intense due to its flat relief, proximity to urban centers and the growing demand for wood products causing great fragmentation and compromising its resilience. The sustainability of its management is based on knowledge of the growth and population dynamics of its species; and the projection in time of its evolution. The objectives were to define the growth curves and rates, estimate the structure and spatial distribution of the regeneration, determine the influence of tree competition on growth, and project the evolution of the Forest in different management situations. The work was carried out in the Experimental Field "Dr. Emilio Navea" (24 ° 21' 8" S; 65 ° 11' 28 "W), from the FCA -UNJu. Permanent plots were installed, where individuals larger than 10 cm in DAP were labeled and measured. The installation of the plots was in the year 2009 and they were repeated 3 times. Growth data show that the species with the greatest increases are *Anadenanthera colubrina* var *cebil* and *Parapiptadenia excelsa*. being the estimated time to achieve its minimum cutting diameters (DMC) of 27 and 35 years respectively. The dominant regeneration corresponds to *Schinopsis lorentzii*, *A. colubrina*, *P. excelsa* and *Caesalpinia paraguariensis*, in addition it was found that the disturbances affect the pattern of distribution of the regeneration. It was estimated that tree competition has an impact on species growth. The reduction of the density of the forest favors the diametric increases of the individuals. The projection of the forest demonstrates that a forest exploitation carried out with the current technical conditions and DMC does not recover the volume used in a period of 20 years.

Keywords: Chaco Forest, forest management, growth, competition, dynamics,

1. Introducción

Los bosques argentinos conforman un mosaico único en el mundo de diversidad biológica y de paisaje (Giménez y Hernández, 2008). La Provincia de Jujuy, consta de dos sistemas boscosos de importancia social, ecológica y económica, los cuales son la Selva de Yungas y el Bosque Chaqueño Semiárido (Cabrera, 1976), que en conjunto representan aproximadamente 900.000 ha (SAyDS, 2005). Existen grandes áreas de ecotono entre estos dos sistemas, donde coexisten especies representativas de cada bioma, dándole características estructurales y ecológicas muy particulares. Tanto las Yungas y el Bosque Chaqueño Semiáridos están amenazados por continuos disturbios antrópicos y naturales (Brown y Malizia, 2004; Brassiolo, 2004; Del Castillo, 2005).

Uno de los principales problemas, es la deforestación debido a la gran demanda de los recursos forestales provocando una disminución de la cubierta forestal (Romano, 2007). Los efectos directos e indirectos de la deforestación tienen consecuencias socioeconómicas, ambientales y ecológicas de largo alcance (Orozco Vilchez, 1991). Al modificar las condiciones del bosque primario por un cambio drástico, como ocurre en los casos de un aprovechamiento forestal selectivo, de la implementación de un sistema silvopastoril o de un incendio surge un bosque secundario con una estructura forestal “residual o remanente” empobrecida biológicamente (FAO, 1994; Araujo, 2003; Blundo y Malizia, 2008). La pérdida de biodiversidad vegetal constituye no sólo un problema para el equilibrio de los ecosistemas naturales sino

que también afecta a las comunidades humanas regionales que sustentan sus frágiles economías en la utilización de los recursos naturales (Martínez Pastur *et al.*, 2004)

La preservación de un paisaje tan heterogéneo solo será posible elaborando una estrategia de conservación, por la cual, las áreas protegidas se complementan con el manejo sustentable del espacio circundante (Romano, 2007). Desde el punto de vista técnico, la gestión forestal requiere contar con información sobre la regeneración natural, estructura, crecimiento, competencia y producción, tanto de las especies de valor comercial, como de las que aún tienen un valor económico desconocido (Araujo, 2003).

Es prioritario poder cuantificar y diferenciar la distribución de la regeneración natural para futuras cosechas en los distintos tipos de bosques para preservarla su manejo constituye un enfoque estratégico y prioritario en un sistema de producción forestal sostenida (Terán y Maraño, 2001). La estructura, interpretada como la representación de los individuos en términos de edad, tamaño u otras características, constituye la consideración básica para un manejo orientado a la calidad y continuidad de los rendimientos, por lo que tiene importancia ecológica y silvicultural (Wadsworth, 2000). El estudio del crecimiento y de la producción presente y futura de los árboles y, de los rodales forestales es básico y fundamental para la planificación y administración forestal de los bosques. En un bosque, el crecimiento está dado por la actividad de los árboles vivos pero la sumatoria de los crecimientos individuales no refleja el crecimiento del bosque como un todo, por el hecho de que existen árboles que mueren, que son cortados y que ingresan en las clases diamétricas inferiores durante el período de tiempo considerado (Gauto *et al.*, 1996). Los árboles ejercen competencia al ocupar el espacio disponible para el crecimiento con sus copas y raíces, la ocupación de este espacio, es decir la densidad del bosque, es una característica que no solo se ve influida por los tratamientos silvícolas sino también por el crecimiento arbóreo (Gadow *et al.*, 2007). La competencia es un factor biótico influyente en el crecimiento diamétrico de los árboles. El crecimiento diamétrico representa el crecimiento volumétrico de un árbol o la masa arbórea. La relación competencia-crecimiento influye directamente en las pautas del manejo forestal de un bosque, de su ritmo o velocidad de crecimiento dependen directamente el volumen aprovechable, el ciclo de corta y la superficie de corta., por ello el efecto de esta interacción debe estudiado a nivel del crecimiento y de dinámica de los individuos arbóreos (Álvarez *et al.*, 2003).

El manejo forestal de estos bosques, promovido por la nueva ley forestal 26331, LEY DE PRESUPUESTOS MÍNIMOS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS BOSQUES NATIVOS

que rige desde 2008, es una de las opciones para que éstos puedan permanecer a pesar del uso que se le dé. La legislación actual establece las normas y los diámetros mínimos de corta (DMC) para realizar el manejo del bosque. En general, el aprovechamiento del bosque se realiza respetando el DMC para cada especie, pero esta medida no se complementa con otras tendientes a asegurar la regeneración del bosque ni a regular la participación de las especies en la estructura forestal (Brassiolo, 2004). Los DMC no se ajustan al uso de la industria local, ya que la industria maderera utiliza una gran variedad de especies y diámetros según la disponibilidad de madera (Eliano *et al.*, 2009). Una práctica silvicultural redescubierta denominado manejo forestal sustentable, persigue asegurar la salud y productividad del bosque en el largo plazo y que a la vez proporcione un flujo continuo de bienes sociales y económicos (Torres Rojo 2000). Este paradigma, que contempla nuevas normas de manejo y DMC, se basa en la conservación y manejo de la regeneración natural, en incrementar el crecimiento de las especies, en fijar un volumen de cosecha adecuado y en mantener una estructura forestal equilibrada de las especies componentes, que asegure la perpetuidad del proceso de producción y extracción de madera, evitando la pérdida de biodiversidad y los bienes, y servicios ambientales brindados por el bosque nativo. Sin embargo, es necesario tener información básica de la composición, estructura y crecimiento de estos bosques para ajustar las normas técnicas que sustentan la legislación (Uslar *et al.*, 2004). En ese sentido, esta investigación puede aportar nuevos conocimientos que den lugar a nuevas normas técnicas y pautas de manejo o a una actualización de las existentes.

Los objetivos planteados en este trabajo son:

Objetivo general

Cuantificar la relación entre el crecimiento de las especies arbóreas y las variables estructurales del bosque para proyectar su evolución y producción.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar el crecimiento en diámetro, área basal y volumen de la estructura forestal en distintas situaciones de intervención del bosque.
- ✓ Comprobar diferencias en la composición, abundancia y distribución espacial de la regeneración natural en distintas situaciones estructurales del bosque.
- ✓ Estimar el efecto de la reducción de cobertura arbórea sobre la composición, abundancia y distribución espacial de la regeneración natural.

- ✓ Evaluar el efecto de la competencia sobre el crecimiento de las especies de mayor interés forestal.
- ✓ Proyectar la evolución de la masa forestal.

Hipótesis

- ✓ Modificaciones en la estructura forestal mediante reducción del área basal modifican el crecimiento de las especies arbóreas por los cambios en las relaciones de competencia.
- ✓ La competencia arbórea producto de la distancia entre los individuos afecta en menor medida el crecimiento que la producida por la cantidad y tamaño de los mismos.
- ✓ Las intervenciones en el dosel arbóreo influyen directamente sobre la estructura y los patrones de distribución de la regeneración.

2. Revisión bibliográfica

2.1. Áreas boscosas de la Provincia de Jujuy

Los bosques nativos de Jujuy pertenecen a dos ecorregiones singulares de Argentina las Yungas y El Bosque Chaqueño (Cabrera, 1976). Su disposición está estrechamente vinculada a la topografía (altitud, pendiente y exposición), factores edáficos y el clima. En las áreas bajas del Este de Jujuy se ubican las formaciones de linaje Chaqueño. Las mismas son formaciones de bosques abiertos, conformadas por un número reducido de especies en no más de dos estratos principales. Cuando se encuentran en zonas de serranía, en los bordes secos de las mismas o en sierras bajas en la zona de valles, toma el nombre de Chaco Serrano, con una mayor composición específica y, al que podemos relacionar con un ecotono o transición con las Yungas. En las serranías más altas y algunos núcleos húmedos del centro de la zona de valles, aparece el Bosque Tucumano Oranense o Selva de las Yungas, un bosque de montaña Neotropical; estos bosques que se encuentran en las laderas occidentales de la cadena de los Andes, capturan la humedad procedente del Atlántico (Eliano *et al.*, 2009). Las áreas boscosas actuales de la Provincia de Jujuy (alrededor de 1.1 millón de hectáreas), representan ecosistemas ambiental y productivamente críticos para el mantenimiento de la biodiversidad regional, para el desarrollo sustentable del sector forestal provincial y para el mantenimiento de un conjunto de servicios ambientales (Tabla 1).

Tabla 1. Superficie áreas boscosas de la Provincia de Jujuy

Región Fitogeográfica	Yungas	866.637
	Bosques Chaqueño	86.737
Otras tierras forestales		96.846
Total		1.050.220

Fuente: SAyDS, 2005.

La Selva de Yungas presenta un rango altitudinal con tres pisos altitudinales: la Selva pedemontana desde los 400 a los 700 m snm, la Selva Montana desde los 700 a los 1500 m snm y el Bosque Montano que va desde los 1500 a los 2200 m snm (Cabrera 1976). Cada piso altitudinal posee características estructurales propias, generando así mismos áreas de transición entre ellos. La Selva pedemontana las especies dominantes por abundancia y ocupación son Cebíl (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. cebil (Griseb.) Altschul), Palo amarillo (*Phyllostylon rhamnoides* (J. Poiss) Taub.), Urundel (*Astronium urundeuva* (Fr. & All.) Engl.), Horco Cebíl (*Parapiptadenia excelsa* (Griseb.) Burkart) y Palo blanco (*Calycophyllum multiflorum* Griseb. (Castelo). La riqueza específica es de 39 ± 8 especies/ha, la abundancia de 475 ± 78 ind./ha, el área basal (AB) de $24,76 \pm 3,54$ m²/ha y un volumen comercial de 85,72 m³/ha (Humano, 2013). En la Selva montana predominan Mirtáceas como Palo Barroso u Horco Molle (*Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg.) y Mato (*Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand), acompañado por Tipa Blanca (*Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze.), Lanza Amarilla (*Terminalia triflora* (Griseb.) Lillo), Palo San Antonio (*Myrsine laetevirens* (Mez) Arechav.), Ceibo (*Erythrina falcata* Benth.), Laurel de la Falda (*Ocotea porphyria* (Griseb.) van der Werff.). El AB promedio de este piso es de 18.2 m²/ha, la densidad de 278 ind./ha y un volumen bruto de 117 m³/ha. En el Bosque montano las especies más notables son el Pino Criollo (*Podocarpus parlatorei* Pilg.), Aliso del Cerro (*Alnus acuminata* Kunth,) Ceibo (*E. falcata*), Cochucho (*Fagara coco* (Gillies ex Hook. & Arn.) Engl.), así como Cedro (*Cedrela lilloi* C.DC.) y Nogal (*Juglans australis* Griseb.) este estrato cuenta con un AB de 15,1 m²/ha, aproximadamente 350 ind./ha y un volumen bruto de 77 m³/ha.

El Parque Chaqueño Occidental, es una planicie que discurre entre los 300 y 550 msnm, situada en los valles y en amplias áreas de los mismos en el extremo Noreste de Jujuy. La precipitación anual varía entre 500 y 650 mm. Las especies más representativas son los dos Quebrachos (*Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltldl), Guayacán (*Caesalpinia paraguariensis* (D. Parodi) Burkart, Mistol (*Ziziphus mistol* Griseb.), Yuchán (*Ceiba chodatti* Hassl. Ravenna) y en algunas zonas Algarrobos (*Prosopis* spp). En el

estrato secundario o en bosques muy degradados, aparecen especies como el Duraznillo Colorado (*Ruprechtia triflora* Griseb.), entre otras. El estado de conservación en general es deficiente debido a su aprovechamiento desordenado y continuo como fuente de energía y carbón. El AB es de 7 m²/ha, la densidad es 180 ind./ha y el volumen bruto es de 33 m³/ha (SAyDS, 2005; Eliano *et al.*, 2009).

El Parque Chaqueño Serrano se sitúa en los pedemontes más secos (ecotonos con Yungas), entre 500 y 800 msnm, Las especies dominantes típicas son Duraznillo (*Ruprechtia laxiflora* Meisn.), Cebíl colorado (*A. colubrina*), Guayacan (*C. paraguariensis*), Horco cebíl (*P. excelsa*) y Horco Quebracho (*Schinopsis haenkeana* Engl.), y algunas especies típicas de Yungas como Cebil Moro (*A. colubrina*), Palo Blanco (*C. multiflorum*), además de Cactáceas del género *Opuntia*. (Eliano *et al.*, 2009; Humano *et al.*, 2012).

2.1.1. Estructura arbórea del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy

Este bosque se encuentra en su totalidad en el área denominada Cuenca los Pericos-Manantiales.

La composición florística de especies del área se encuentra en Tabla 2 (MSPM, 2003).

Tabla 2. Composición florística de especies de la Cuenca Los Pericos-Manantiales

Familia	Especie	Nombre común
Achatocarpaceae	<i>Achatocarpus praecox</i>	Palo de tinta
Anacardiaceae	<i>Loxopterygium grisebachii</i>	Urundel amarillo
	<i>Astronium urundeuva</i>	Urundel
	<i>Schinopsis lorentzii</i>	Quebracho colorado
Araliaceae	<i>Pentapanax angelicifolius</i>	Sacha paraiso
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso del cerro
Bignoniaceae	<i>Tecoma fabrisi</i>	Guarangay
Bombacaceae	<i>Chorisia insignis</i>	Palo borracho
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	Afata
Caprifoliaceae	<i>Sambucus peruviana</i>	Sauco
Caricaceae	<i>Carica quercifolia</i>	Sacha higuera
Celastraceae	<i>Maytenus viscifolia</i>	tapia
Combretaceae	<i>Terminalia triflora</i>	Lanza amarilla
Compositae	<i>Eupatorium spp.</i>	
Elaeocarpaceae	<i>Vallea stipularis</i>	

Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum cuneifolium</i>	Coca del monte
	<i>Erythroxylum argentinum</i>	ajicillo
Flacourtiaceae	<i>Azara salicifolia</i>	
	<i>Xylosma pubescens</i>	
Juglandaceae	<i>Juglans australis</i>	Nogal
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	Horco molle
	<i>Myrcianthes pungens</i>	Mato
	<i>Myrcianthes mato</i>	Mato
Nyctaginaceae	<i>Pisonia zapallo</i>	Zapallo caspi
Polygonaceae	<i>Ruprechtia apetala</i>	Duraznillo
Rutaceae	<i>Zanthoxylum naranjillo</i>	Naranjillo
	<i>Zanthoxylum coco</i>	Cochucho
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i>	Chalchal
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	Aguary
Solanaceae	<i>Solanum riparium</i>	Tabaquillo
Vassobia	<i>Breviflora candelilla</i>	
Ulmaceae	<i>Celtis iguanea</i>	Tala
	<i>Phyllostylon rhamnoides</i>	Palo amarillo
Verbenaceae	<i>Duranta serratifolia</i>	
Zigophyllaceae	<i>Porlieria microphylla</i>	Cucharero

La densidad de estos bosques es de aproximadamente 350 ind./ha (Ayarde, 1995) en tanto Humano *et al.* (2012) encontró 320 ind./ha. La distribución diamétrica de los bosques de la cuenca considerados como una unidad (Figura 1) se observa la típica distribución en forma de “J” invertida que caracteriza a casi todos los bosques disetáneos. El coeficiente de disminución medio es de 2:1 para esta distribución, aunque la misma no está totalmente balanceada, es decir que hay clases diamétricas deficitarias y excedentarias. Sin embargo hay individuos en todas las clases y el número de individuos de gran tamaño es relativamente importante (MSPM, 2003).

Fuente: Bosque Modelo Jujuy-MSPM (2003)

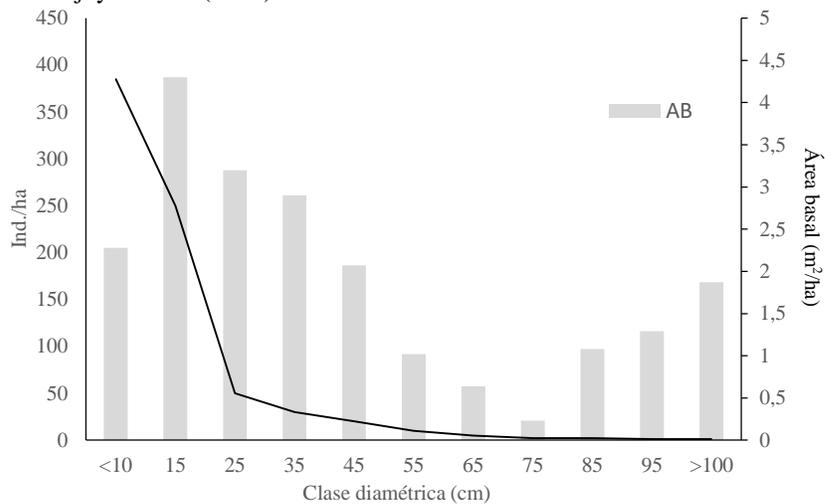


Figura 1. Distribución diamétrica y del AB del Bosque Chaqueño Cuenca Perico-Manantiales, Jujuy.

La media del AB observada es comparable con los valores máximos que ha reportado otro estudio del proyecto NOA II para rodales en Selva pedemontana y bosques montanos del oriente de la provincia. Son comparables a los valores recopilados por Humano *et al.* (2012) que obtuvo un AB de 20 m²/ha.

Sin embargo son relativamente bajos en comparación con valores de densidad reportados para otros sitios de las Yungas, desde Bolivia hasta Tucumán, en los que esta variable normalmente es superior los 20 m²/ha (Ayarde.1995; Humano, 2013) (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros Estructurales Bosque Chaqueño Cuenca Perico-Manantiales, Jujuy

Clase (cm)	Ind./ha	AB (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)
<10	380,95	2,28	
15	247,62	4,3	
25	56,19	3,2	10,75
35	28,1	2,9	11,56
45	10,95	2,07	9,33
55	4,29	1,02	4,16
65	1,9	0,64	4,12
75	0,48	0,23	0,92
85	0,95	1,08	5,84
95	1,43	1,29	7,47
>100	1,9	1,87	8,42
Totales	734,76	20,88	62,57

Fuente: Bosque Modelo Jujuy-MSPM (2003)

Por lo general, los rodales de estos bosques presentan dos estratos arbóreos y más raramente uno sólo, en ambos casos con buenas coberturas (Humano *et al.*, 2013) (Tabla 4). El tipo de sotobosque más generalizado es uno con predominio de arbustos con herbáceas como acompañantes. La densidad de estos rodales se encuentra en niveles relativamente altos, como lo indican tanto el área basal como el número de árboles por unidad de área. En consecuencia, los volúmenes de fuste son importantes si se determina como el agregado de todas las especies, mientras que se reduce a la mitad si se analiza la porción comercial que se puede cosechar inmediatamente. A su vez, esta porción comercial está dominada por especies cuyo valor no es de primer orden.

Tabla 4. Distribución de ind./ha, AB y cobertura por clase diamétrica Bosque Chaqueño de Jujuy

Clase (cm)	Ind./ha	AB (m ² /ha)	Cobertura (m ² /ha)
1-9,9	109,33	1,48	3466,06
10-19,9	143,67	6,97	4936,54
20-29,9	39,33	5,27	1155,50
30-39,9	11,00	2,99	273,52
40 a +	6,33	3,11	221,22
Total	309	19,82	10052,84

El uso ganadero y forestal de estas tierras boscosas son o han sido actividades muy generalizadas en la cuenca. Considerando que la actividad forestal prácticamente ha cesado en el presente, se puede afirmar que el uso económico más importante en la actualidad es el ganadero. La extracción de mantillo, una actividad extractiva de graves impactos sobre la dinámica de estos bosques, ha sido verificada. También se ha verificado el uso del fuego de manera relativamente generalizada. Este conjunto de actividades, y sobre todo la forma en que ellas se desarrollan en la cuenca, ha determinado una generalización de procesos de erosión hídrica y pérdida del potencial y diversidad forestal en distinta magnitud.

2.2. Pérdida de los recursos forestales en la Región

Argentina poseía aproximadamente 100 millones de hectáreas (ha) de bosques a principios del siglo XX. En 1915 la superficie forestal se redujo un 30 % debido a la ausencia de normas adecuadas para la Ordenación Forestal de los bosques nativos (SAyDS, 2005). Actualmente 33.000.000 de ha están cubiertas por bosques, lo que representa una reducción del 66 % en un período de 75 años (Araujo, 2003). La superficie ocupada por la Selva Subtropical según el Proyecto NOA II Forestal (Sachtler, 1977) en las Provincias de Jujuy, Salta y Tucumán era de 2.109.000 ha, de las cuales 1.370.000 ha correspondían a Selva y 739.000 ha a Bosques de Transición (Selva pedemontana). De ellas, un millón ya se encuentra transformado en tierras agrícolas (Brown *et al.*, 2002). Este proceso de transformación avanza a una tasa de aproximadamente 10.000 ha anuales en las áreas pedemontanas (Gasparri y Grau, 2006) poniendo en riesgo una parte importante de la superficie remanente de Selva (Brown y Malizia, 2004) (Tabla 5).

Tabla 5. Reducción de la superficie de bosques nativos de la Argentina (SDSYPA, 2001).

Masas Forestales Nativas		
Año	Superficie (ha)	Superficie del territorio nacional (%)
1914	106.000.000	38
1956	60.000.000	21
1986	44.000.000	16
1989	36.000.000	12,8

La explotación de los bosques del NOA se inició en la época de la colonia, principalmente en Tucumán donde existía "la abundancia de excelentes maderas". La llegada del ferrocarril en 1876, la mecanización de las tareas forestales a principios del siglo XX y la facilidad de transporte ferroviario hacia los mercados del centro del país impulsó el desarrollo de la explotación de maderas (Del Castillo, 2005). Hasta la década de 1950, quedaban áreas de bosque sin explotar, por problemas de accesibilidad, pero la introducción de topadoras y las motoarrastradoras permitieron su explotación. La secuencia de la explotación en términos generales fue: extracción de las especies de mayor valor llamadas "maderas preciosas" y luego, a medida que éstas se agotaban se intensificó la extracción de las especies de menor valor (Del Castillo, 2005). Los bosques se aprovecharon en sucesivos repasos durante 30 a 50 años, quedando la fisonomía boscosa carente de especies de valor.

A esta desordenada explotación se sumó el efecto del ganado sin manejo, el cual elimina por ramoneo los renovales, afectando la resiliencia del sistema. Actualmente, la explotación forestal la realizan pequeñas empresas de capitales limitados y en circuitos económicos que generalmente bordean la ilegalidad (Brown y Pacheco, 2006), favorecidos por una legislación endeble y ausencia de un control riguroso de la comercialización de madera.

Además, la pérdida de superficie boscosa se incrementó por la mayor rentabilidad de la actividad agrícola siendo esta situación lo que actualmente afecta a la Selva pedemontana, predisponiendo a serios riesgos en la conservación de la biodiversidad, de los recursos no madereros (especies medicinales, los aceites, fibras), de la fauna silvestre y tanto otros recursos de la naturaleza (Brown y Malizia, 2004).

Entre las consecuencias sociales están la pobreza en zonas rurales y los vacíos territoriales por migración a los centros urbanos. Los orígenes de la pobreza estructural son complejos existiendo cierta correlación entre el mal uso del recurso bosque y la pauperización de estas regiones, con altos índices de necesidades básicas insatisfechas que afectan al 62% de la población rural. No obstante, y pese a las condiciones críticas de nuestro patrimonio forestal, existe la plena convicción de que los bosques nativos pueden ser aprovechados en forma racional y ser fuente de trabajo permanente para las comunidades que viven en ellos. (SAyDS, 2005).

2.3. Legislación-Disposiciones normativas Nacionales y Provinciales

En la Constitución Nacional el artículo (art.) 41 establece el derecho de todos a un ambiente sano, equilibrado, y a un desarrollo sustentable, con la obligación de recomponer el daño ambiental donde se reparte la competencia entre Nación y Provincias. Con respecto a Leyes nacionales, la Ley 25.675: consagra los siguientes instrumentos de política y gestión ambiental sobre Ordenamiento Territorial, Evaluación de Impacto Ambiental, Educación Ambiental; Información Ambiental, Participación Ciudadana, Seguro Ambiental, Sistema Federal Ambiental, Promoción de la Autogestión, Responsabilidad objetiva por daño ambiental; Proceso Ambiental ágil, con legitimación amplia y reglas especiales. La Ley 13.273, de Defensa de la Riqueza forestal, es una ley de adhesión, no de presupuestos mínimos. Clasifica los bosques, establece ayudas y créditos para forestación. Exige en las Provincias adheridas: la creación de una autoridad de aplicación, de un fondo Provincial de bosques y la concesión de exenciones impositivas. Regula el régimen de aprovechamiento de los bosques

y el transporte de productos. La Ley 25.080, de inversiones para bosques cultivados (1999) tuvo como fin promover nuevos emprendimientos forestales y forestoindustriales sustentables y ampliación de los existentes. Es una ley de adhesión, por lo tanto son las Provincia las que debe designar la autoridad de aplicación y dar exenciones. Esta ley otorga estabilidad fiscal a los emprendimientos beneficiados por 30 años o más. Concede apoyos no reintegrables para proyectos de hasta 500 hectáreas. La Ley 26.331, de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos (2008) establece la obligación de las Provincias de realizar el ordenamiento de los Bosques nativos existentes en su territorio, y las normas técnicas de uso de los predios determinados. A partir de la Resol. 81/2009 SGA, de aplicación de esta Ley, se realizan convocatorias anuales para proyectos de conservación, manejo y ordenamiento predial de bosques nativos; y se establecen los nuevos DMC (Tabla 5).

Entre las normativas de la Provincia de Jujuy está en la Constitución Provincial de Jujuy, el art. 76, referido al régimen forestal: la Provincia debe proteger sus bosques y tierras forestales, y promover la forestación y reforestación de su suelo. Debe contemplar: la explotación racional, las condiciones de los planes de forestación y reforestación que aseguren el acrecentamiento de las especies, la adopción de principios de silvicultura que se adecuen a las técnicas más adelantadas, la instalación de industrias madereras en condiciones ventajosas y la promoción económica de las actividades forestales.

Entre la leyes se destacan la N° 114, la que crea la Administración Provincial de Bosques como autoridad de aplicación, y el Fondo Provincial de Bosques para costear los gastos que supone la aplicación de la ley; la Ley 4542, de protección del árbol y del bosque. Esta última define bosque protector como todo monte natural que vegete en terrenos de la Provincia y como bosque permanente a todo arbolado del dominio público de la Provincia y municipios. Por otra parte, la Ley 5063, es la ley general de medio ambiente de la Provincia de Jujuy, declara entre sus objetivos la protección de los recursos naturales renovables, a la ordenación y planificación del uso del territorio y de los procesos de desarrollo económico y social, y a la evaluación previa del impacto ambiental de proyectos de obras o actividades, públicas o privadas. La Ley 5146, adhiere a la Provincia de Jujuy a la ley 25.080 de fomento a las inversiones para bosques cultivados. El Decreto 5113 (1978), contiene disposiciones respecto del desmonte con fines de agricultura. Determina nuevos DMC. Crea la posibilidad de efectuar reforestaciones de sustitución o compensación en razón de las especies apeadas (Tabla 5).

2.4. Estado de Conservación y Perspectivas futuras

Los bosques subtropicales han sido por décadas las proveedoras de maderas de alta calidad, debido a la extensión de estos ecosistemas forestales y las especies de alto valor maderable que los componen (SDSyPA, 2001). La demanda de madera de especies forestales tradicionales tales como *S. lorentzii* (quebracho colorado), *H. impetiginosus* (lapacho) y *Prosopis nigra* (algarrobo), va en aumento dada la situación económica actual con mercados favorables para la exportación y, a la vez, por el incremento del consumo interno debido a la disminución de importaciones de países vecinos (Bolivia, Paraguay y Brasil).

La transformación a que está sometida los bosques semiáridos, provoca que las áreas remanentes de bosque presenten un fuerte proceso de simplificación estructural. La situación actual es endeble y claramente insuficiente para asegurar la persistencia de su biodiversidad a largo plazo, a pesar de esfuerzos recientes para revertir esta tendencia (Brown y Malizia, 2004). Los aprovechamientos forestales se basan en cortas selectivas, que no son acompañadas por tratamientos silvícolas que garanticen la recuperación y preservación de la capacidad productiva del bosque (Brown *et al.*, 2006).

Una medida importante para contribuir a salvaguardar el futuro del valor maderable del bosque es la reforestación a través de enriquecimientos o macizos con fines comerciales, con especies nativas de valor o dendroenergéticas, aliviando la presión sobre las formaciones nativas (Lamprecht, 1990; Mármol, 1995; Del Castillo, 2005; Minetti, 2006). En ese sentido una serie de experiencias se han desarrollado durante la última década, combinando distintas especies, densidades y tareas de mantenimiento (Horlent y Monteverde, 2006; Del Castillo *et al.*, 2006). Estas experiencias generan la opción de que las plantaciones forestales con especies nativas sean una alternativa productiva, frente a plantaciones con especies exóticas de rápido crecimiento e incluso frente a cultivos agrícolas como la soja. Adicionalmente podrían cumplir la función de restaurar antiguas áreas de bosque en sitios ambientalmente estratégicos, como márgenes de ríos o corredores para la fauna, que permitan reconectar áreas actualmente disyuntas. El desarrollo de Plantaciones MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) que generan recursos adicionales a partir de la comercialización de bonos de carbono, podría ser asimismo una herramienta financiera importante para generar un cambio de paradigma productivo en el desarrollo económico de la región (Brown y Pacheco, 2006).

La plantación experimental de Valle Morado, en el Departamento de Orán, Provincia de Salta, perteneciente a la Fundación ProYungas (Blundo y Malizia, 2008) y las plantaciones

experimentales de la Estación Experimental-INTA-Yuto, en Ledesma, en la Provincia de Jujuy (Del Castillo, 2005), han aportado información sobre el desarrollo de especies nativas, lo que ha generado alternativas de producción de maderas valiosas en plantaciones comerciales. A esto debe sumarse programas nacionales como el encarado por el INTA a partir de 2006, como el Proyecto Integrado de Domesticación de Especies Nativas. Este proyecto cuenta con el trabajo de profesionales de las Estaciones Experimentales Agropecuarias Famaillá (Tucumán), Yuto (Jujuy) y Montecarlo (Misiones) del INTA y del Instituto de Recursos Biológicos del INTA Castelar. Además, recibe el aporte de investigadores de las Universidades Nacionales y la colaboración de Empresas Privadas. El objetivo que plantea el proyecto es "generar y transferir tecnologías para el cultivo de especies nativas con vistas a la producción de madera de alto valor comercial y delinear estrategias de conservación y/o recuperación de ecosistemas degradados"(Brown *et al.*, 2002). De la misma manera otras especies menos conocidas comienzan a desempeñar un papel importante sustituyendo a las tradicionales (SAyDS, 2005). Un ejemplo de esto es el *A. colubrina var. cebil* (cebil colorado), el cual ha sido utilizado tradicionalmente en construcciones rurales. Recientemente se han exportado cantidades pequeñas a los mercados europeos y de Norteamérica como pisos de exterior (decking), duplicando y triplicando el valor por pie cuadrado maderero (Romano, 2004).

En la región las empresas forestales privadas, como por ej. GMF Latinoamérica SA, Forestal Santa Bárbara SA o La Moraleja SA, se encuadran en certificación FSC, cuya prioridad es que los productos forestales certificados proceden de montes aprovechados de forma racional. Este aprovechamiento racional debe hacerse, de acuerdo a Estándares Internacionales que contemplan aspectos ambientales, sociales y económicos y que definen los niveles mínimos de la buena gestión para los bosques.

También se difunden a través de talleres El Programa de Manejo Forestal Responsable (ProFor) de la Fundación ProYungas, que apoya acciones que conllevan al manejo forestal sustentable de los bosques subtropicales. Además de normas de manejo y talleres, las bondades del buen manejo forestal deben comunicarse a audiencias más amplias mediante un mejor material de divulgación, más información científica sobre el manejo de especies nativas y difundirse con mayor ímpetu las experiencias y conocimientos existentes en organismos como el INTA, las Universidades, las Secretarías de Medio Ambiente Provinciales (con oficio de Direcciones de bosques) y la Secretaría competente del Gobierno Nacional (Minetti, 2006).

Trabajos específicos en el área de estudio sobre domesticación, crecimiento y plantación de especies nativas como *P. nitens* (tipa colorada), *Tipuana tipu* (tipa colorada) y *A. colubrina* (cebil colorado) (Humano, 2014), y sobre la aplicación de riego presurizado y fertilización en *P. nitens* (Humano, 2015) han permitido la revalorización y pautas de producción in situ de madera de calidad.

En Argentina, el interés en el manejo de bosques secundarios para la obtención de productos maderables ha aumentado en los últimos años, existiendo leyes que amparan y subvencionan el manejo sustentable, como la Ley de Inversiones para Bosques Cultivados (Nº 25.080), que promueve el enriquecimiento de los bosques degradados. Adicionalmente, el desarrollo e implementación de Planes de Ordenamiento Territorial (Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos Nº 26.331) en grandes extensiones de áreas boscosas pone en relieve la importancia de los bosques nativos y la necesidad de mantener en el tiempo sus valores productivos, en este caso el forestal (Blundo y Malizia, 2008).

En el mundo se ha propuesto como desafío en la conservación forestal la expresión diversidad biológica forestal que hace referencia a todas las formas de vida existentes en las áreas forestales y las funciones ecológicas que desempeñan. Como tal, la diversidad biológica forestal no solo engloba los árboles, sino también la multitud de plantas, animales y microorganismos que habitan en las zonas forestales y la diversidad genética asociada a estos. La diversidad biológica forestal puede examinarse en diferentes niveles, incluidos los niveles ecosistémicos, territoriales, de especies, de población y genéticos. Pueden producirse interacciones complejas dentro de dichos niveles y entre ellos. En los bosques con una gran diversidad biológica, esta complejidad permite a los organismos adaptarse a condiciones ambientales en continuo cambio y mantener las funciones ecosistémicas (ONU, 2020)..

2.5. Manejo silvícola y la tendencia actual

A partir de la sanción y promulgación de la Ley 26.331, la Provincia de Jujuy se encamina hacia el ordenamiento de los recursos forestales nativos presentes en su territorio, dictando una serie de normas Provinciales como el Decreto 2187 (2008) y la Resol. 81 (2009). El primero dispone la aprobación del Plan de Ordenamiento Territorial Adaptativo para Áreas Boscosas de la Provincia de Jujuy, y el segundo reglamenta el decreto y establece pautas para

la evaluación del impacto ambiental, planes de manejo forestal sostenible y cambio de uso de suelo de las áreas boscosas, y se establecen los nuevos DMC (GMSJ, 2010) (Tabla 6).

Tabla 6. Diámetros mínimos de corta (DMC) de las especies nativas de valor forestal.

Nombre Común	Nombre Científico	DMC (cm)
Cedro rosado	<i>Cedrela lilloi</i>	40
Nogal	<i>Juglans australis</i>	40
Pino del cerro	<i>Podocarpus parlatorei</i>	40
Palo barroso	<i>Blepharocalyx gigantea</i>	40
Pacará	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	40
Cedro oran	<i>Cedrela balansae</i>	35
Lapacho	<i>Handroanthus sp.</i>	35
Tipa blanca	<i>Tipuana tipu</i>	35
Tipa colorada	<i>Pterogyne nitens</i>	35
Quina	<i>Myroxylon peruiferum</i>	35
Otras especies		30

Fuente: Resol. 81 SGA/ 2009.

Los sistemas de manejo de bosque nativo en la Provincia de Jujuy están técnicamente basados en un sistema de selección o tala selectiva de los mejores ejemplares según DMC, elegidos en forma arbitraria y sin considerar condiciones ecológicas de las distintas poblaciones de especies como el nicho de regeneración, la tolerancia, la tasa de crecimiento, la tasa de mortalidad y la capacidad de regeneración de las especies (Del Castillo, 2005; Eliano *et al.*, 2009; Balducci *et al.*, 2012).

Con respecto a otras propuestas de manejo forestal también es muy aplicado el sistema silvopastoril, donde se plantea un manejo mixto para producir madera y carne, donde se prevé su implementación sobre terrenos con pendientes entre 5% y 10 %, manteniendo una cobertura del 40 al 70% (Resol. 81, 2009), una clausura temporal de 3 a 5 años para favorecer el reclutamiento de la regeneración posterior a un aprovechamiento y una carga animal de 1 unidad ganadera/10-15 ha y la siembra de pasturas subtropicales (Grulke *et al.*, 2012). Sin embargo esta metodología de manejo carece de pautas de aplicación mejor definidas como por ej. saber cuáles son las especies arbóreas que se extraen, cuales se preservan, cual es la densidad de árboles a manejar, etc.

Actualmente, a partir del acuerdo entre el Ministerio de Agroindustria y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación tomo relevancia el sistema MBGI (manejo de

bosque con ganadería integrada) a base de mucha investigación y propuesta técnica s obtenidas de la investigación a campo. El MBGI propone el manejo integral del ecosistema, como una herramienta de desarrollo frente al cambio de uso del suelo, donde se incluye al bosque nativo en la matriz productiva, como un agente proveedor de servicios ecosistémicos, especialmente en lo que respecta a la producción ganadera y forestal. Dicha propuesta se basa en la adopción de tecnologías de bajo impacto ambiental, con una visión integral del ambiente que busca el equilibrio entre la capacidad productiva del sistema, su integridad y sus servicios, bajo el principio de mantener y mejorar el bienestar del productor y las comunidades asociadas. Por lo tanto, el término MBGI se refiere a la planificación de todo tipo de actividad ganadera y forestal dentro de un bosque nativo, ampliando así, el concepto de Prácticas Silvopastoriles Tradicionales (Peri *et al.*, 2018).

En este contexto, el nuevo paradigma forestal en la región NOA, el Plan de Manejo Forestal Sustentable (PMFS) una herramienta fundamental para la gestión de los bosques nativos.

Este paradigma se basa en:

- La aplicación de un diámetro óptimo de corta, el cual está relacionado con aspectos tecnológicos de las maderas y de uso en la industria (Eliano *et al.*, 2009).
- El sistema silvicultural es el de Árbol Futuro, que se basa en la extracción de árboles maduros, observando con atención los individuos en las clases de tamaño menores, sobre los cuales se aplicarán los tratamientos intermedios con el objetivo de garantizar su adecuado crecimiento hasta llegar al próximo ciclo de cosecha (SGAJ, 2012).
- La aplicación del concepto de Continuo Forestal, basado en la ordenación forestal determinando el área de aprovechamiento anual, el turno de corta, el ciclo de corta de las especies, la reserva de crecimiento que queda luego del aprovechamiento, las especies principales a manejar, el nivel de extracción o tasa de aprovechamiento y el método de reproducción (Araujo, 2003).

Dentro de este paradigma deben considerarse además el enriquecimiento de bosque nativo y los sistemas silvopastoriles (Resol. 81, 2009; Eliano *et al.*, 2009; Grulke *et al.*, 2012)

Muchas de estas aspiraciones están carentes de investigación científica y algunas de ellas están sustentadas en la necesidad de obtener datos de crecimiento de las especies y variación de la estructura forestal posterior a la aplicación de un tratamiento silvícola. Lo

expuesto brinda el contexto sobre la importancia de los conocimientos que podrán ser aportados por esta tesis.

2.5.1. Distribución diamétrica y distribución balanceada

El aprovechamiento racional de un bosque natural debe realizarse en base al conocimiento de la organización social y geométrica del conjunto de sus poblaciones y de las leyes que lo gobiernan. Esta organización se estudia y describe bajo dos conceptos: la composición florística y la estructura (Linares, 1997).

La estructura del bosque se estudia y describe en términos de edad, tamaños, u otras características. Es información básica para un manejo orientado a la calidad y continuidad de los rendimientos. Asimismo, la estructura define el grado de uniformidad del bosque y la intensidad de las cortas en el futuro, por lo que tiene importancia ecológica y silvicultural (Wadsworth, 2000).

La estructura diamétrica también denominada distribución de los diámetro, conceptualmente es la distribución del número total de árboles por ha, o densidad absoluta por clase diamétrica. La estructura diamétrica de una especie o de un grupo de especies es la distribución del número de árboles por ha o por clase de DAP, por especie o grupo de especies. Se la emplea para caracterizar tipologías vegetales (formaciones boscosas) estadios seriales o sucesionales (inicio, medio, secundario avanzado o clímax), estados de conservación, régimen de manejo, procesos dinámicos de crecimiento y producción, grupo ecológicos de especies (pioneras, secundaria inicial, secundaria tardía y clímax) , grupos de usos (comercial, potencial, otros). Puede usarse como una guía para la corta y sobre todo como un verificador de la sustentabilidad ambiental del manejo.

Generalmente, la distribución diamétrica del bosque o de las especies puede ser unimodal (única moda), multimodal (más de una moda), normal (media = moda=mediana), en forma de j invertida (creciente, decreciente y balanceada), continua (individuos en todas las clases de diámetros), o discontinua o errática (ausencia de individuos en una o más clases de diámetros (De Souza y Soares, 2013).

En los bosques nativos con estructura irregular, las especies presentan una multiplicidad de características ecofisiológicas y tasas de crecimiento y producción (Souza y Jesus, 1994). Esta observación fue realizada por De Liocourt al estudiar las distribuciones diamétricas de bosques manejados por cortas de entresaca. En efecto, al realizar la medición de los

diámetros observó que existía una distribución de frecuencias decreciente en forma de **J** invertida. Si bien la idea original del bosque normal fue concebida en términos de bosque regular regenerado naturalmente, un concepto similar puede ser aplicado al bosque irregular, aunque partiendo de una base diferente (Meyer *et al.*, 1961).

Según Meyer *et al.* (1961), De Liocourt observó que existe una razón casi constante cuando se efectúa el cociente entre el número de individuos de clases diamétricas consecutivas. Así, De Liocourt concluyó que la normalidad de una masa irregular queda determinada por la existencia de esa razón constante entre el número de árboles de clases diamétricas consecutivas. Por lo tanto, para una determinada densidad, la distribución diamétrica puede ser descrita por el promedio de esos cocientes. Además, encontró que la constante (**q**) difería entre bosques según el sitio, lo que reflejaba diferencias en las características de sus distribuciones diamétricas (Leak, 1964).

Meyer *et al.* (1961) fue el principal promotor de la teoría de De Liocourt en los Estados Unidos. Introdujo el término "masa balanceada o distribución balanceada de los diámetros" y reafirmó la importancia de contar con bosques irregulares para el manejo forestal sostenible.

Sin embargo, que masas irregulares puedan presentar la forma de "**J**" invertida en su distribución diamétrica, no garantiza por sí sola un manejo sostenible. Las distribuciones diamétricas pueden ser descritas matemáticamente, pero una distribución adecuada está determinada por la biología de las especies, por los objetivos del manejo y no por el procedimiento matemático que describe la situación ideal. En la práctica el problema a resolver es cómo se mantiene una distribución que responda al nivel de existencias en volumen que se desea (Davis, 1966) y una producción sostenida en el tiempo.

El bosque irregular tiene un ritmo de crecimiento que puede ser medido por el crecimiento periódico, para lo cual se necesita disponer de los datos de remediciones periódicas. El crecimiento acumulado representa la producción bruta del vuelo. El crecimiento relativo (%) también puede emplearse para predecir el crecimiento futuro inmediato, pero sólo para cortos períodos de tiempo, debido a las variaciones que puede experimentar en períodos de tiempo mayores (Mackay, 1961).

A partir de los crecimientos y tasas poblacionales (Mortalidad y reclutamiento) se puede proyectar la producción futura del bosque. La posibilidad de que sea "sostenida" en tiempo se puede evaluar mediante la aplicación de la teoría de De Liocourt, definiendo las curvas de distribución balanceada (Meyer *et al.*, 1961) para distintos objetivos de manejo.

2.5.2. Proyección de la distribución diamétrica de los bosques nativos del Chaco Semiárido

Mediante la proyección de la estructura se puede predecir la dinámica del bosque (crecimiento, mortalidad, tránsito, ingresos) y estimar cual será la producción, la estructura futura y la sostenibilidad. La dinámica forestal incluye todos los procesos de cambio de la estructura del bosque como la incorporación, crecimiento y muerte de los árboles (Abellanas *et al.*, 2007).

En particular, cuando se estudian los bosques nativos del Chaco Semiárido, existe una imposibilidad material de evaluar opciones en forma experimental debido al tiempo que conlleva la dinámica de estos sistemas.

El diámetro es la variable más usada en las decisiones de manejo de bosques irregulares. Por ello los modelos de distribuciones diamétricas se usan para proyectarlos según categorías de tamaño (clases diamétricas). Constituyen el método clásico para estimar el crecimiento y producción utilizando el incremento en diámetro de los árboles y otras variables referidas a la masa. No todos los individuos en una población hacen la misma contribución en la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, debido a que los valores de natalidad y mortalidad varían de acuerdo a la edad, tamaño y estadio de un individuo (Silvertown y Lovett, 1993). La mortalidad, ingresos y la corta pueden ser analizados separadamente.

Para la aplicación del método se deben definir previamente las ecuaciones que estiman las variables y parámetros dasométricos y, la forma en que se aplicarán.

Si bien existen estudios importantes sobre los bosques de la ecorregión del Gran Chaco Sudamericano la modelización del crecimiento y producción aún se encuentra en una etapa inicial, principalmente por la falta de inventarios forestales continuos en parcelas permanentes, un ejemplo aplicado de simulación se inició con el Modelo de Simulación de Manejo Forestal (MOSIMAFO) y su aplicación para predecir como evolucionarían los parámetros de la masa en un bosque del Chaco Semiárido (Iturre *et al.*, 2017).

Las características del bosque se describen por los parámetros dasométricos obtenidos de un inventario forestal continuo en parcelas permanentes, con los datos

de incrementos diamétricos obtenidos se logrará la simulación para evaluar las posibilidades de cosechas (Dauber, 2003) y, el tiempo demandado en recuperar el volumen de cosechado (Brienen *et al.*, 2003). El monitoreo de parcelas permanentes sobre el crecimiento y la producción de las masas forestales, resulta fundamental para la construcción de modelos de crecimiento y de dinámica poblacional, ya que representan la verdadera evolución de las poblaciones arbóreas componentes de las masas estudiadas (Gadow *et al.*, 1999).

Después de generar una distribución diamétrica virtual el modelo predice los cambios. Los resultados de las simulaciones se analizan como alternativas de las cuales se pueden obtener diferentes distribuciones de diámetros, de área basal y de volúmenes por clases diamétricas.

El Sistema MOSIMAFO requirió la determinación previa de los siguientes parámetros: reclutamiento (Ingresos) definido como el número de individuos que se incorporan a la población (ingresos), crecimiento de los árboles; número de individuos muertos (mortalidad) (Araujo, 2003).

El modelo conceptual responde al principio de distribución balanceada de De Liocourt. En base a la constante q , diámetro mínimo de inventario, diámetro máximo de la distribución y crecimiento diamétrico, se define la distribución ideal que sirve de referencia para determinar la corta por clase diamétrica (Araujo y Iturre, 2006).

2.6. Estudios realizados en Argentina

Estudios pioneros en el NOA en principio se basaron en datos climáticos (Buitrago, 2000), edáficos (Nadir y Chafatinos, 1990), descripción del bioma (Cabrera, 1976; Braun, 2001) y descripción de las especies arbóreas existentes (Digilio y Legname, 1966; Legname, 1982). Como documento referencial puede citarse “Manejo sustentable de ecosistemas forestales de la cuenca Los Pericos – Manantiales” (MSPM, 2003) realizado por la Asociación civil Bosque Modelo Jujuy.

Con respecto a estudios relacionados con esta tesis existen Trabajos científicos sobre **estructura forestal y regeneración** por Araujo (2003) en Bosque en regeneración del Bosque

del Chaco Santiagueño, Humano (2013) para Selva pedemontana de Yungas y Kees *et al.* (2018) para Bosque del Chaco Húmedo.

Al referirnos trabajos de **crecimiento** de especies nativas obtenidos por análisis dendrocronológicos por diversos autores como Giménez y Ríos (1999) en *Schinopsis quebracho colorado*, Juárez de Galíndez *et al.* (2006) en *P. Alba*; Brassiolo y Pokorny (2000) en plantas jóvenes de *S. quebracho colorado* y Giménez *et al.* (2013) en *Geoffroea decorticans*, por mediciones anuales de DAP en parcelas permanentes Araujo (2003) y Araujo y Iturre (2006) en Bosque en regeneración del Chaco Santiagueño y Humano (2013) en Selva pedemontana de Yungas.

En referencia a estudios sobre **competencia arbórea** hay escasos trabajos los más notorios son en Bosques Andinos patagónicos particularmente en *Nothofagus pumilio* como Chauchard *et al.* (2001), Martínez Pastur *et al.* (2004) para diagramas de manejo de densidades y, Wellenbeck (2007) en Selva pedemontana para estimar efecto del a competencia sobre el crecimiento de *C. balansae*.

En la actualidad ha tomado relevancia la investigación en el manejo, recuperación y conservación sustentable de los bosques nativos de Jujuy, generando guías técnicas orientativas en decisiones de manejo (Gulke *et al.*, 2007; Eliano *et al.*, 2009; GMSJ, 2010; Gulke *et al.*, 2012; Humano, 2013). Se pueden mencionar como trabajos referenciales, a dos trabajos que evidencian información básica puede ser usada para sentar las bases de programas de manejo y conservación de bosque nativo, a uno propuesto por Araujo (2003) denominado “Bases para la gestión sostenible de Bosques en Regeneración del Chaco Semiárido” y el otro “Manual de manejo de Bosque nativos de la Región Chaqueña” (Brassiolo y Gulke, 2015).

Los estudios que relacionan la interacción bosque y ganadería extensiva son escasos en la zona, solo se mencionan stock ganadero (SEAGJ, 1995; INTA, 2008) o el efecto de la ganadería (MSPM, 2003) por ello se consideran trabajos de consulta aquellos que se refieren a sistemas silvopastoriles (SSP) en la zona de Los Valles (García, 2010) o en la región NOA (Kunst *et al.*, 2008), o el efecto de la corta de individuos sobre el crecimiento del bosque Chaqueño remanente (Brassiolo y Pokorny, 2000; Navall, 2012). En 2015 se firma, entre el Ministerio de Agroindustria y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, el acuerdo MBGI (Manejo de Bosque con Ganadería Integrada) donde se plantea un proceso de aprendizaje, prueba, ajuste, tanto por el enfoque de “manejo adaptativo” como por la implementación de “sitios piloto” a nivel provincial, para poner a prueba esquemas de manejo

que se ajusten a modalidad propuesta. Además, el acuerdo acotó a una serie de pautas específicas, fijando una postura sobre puntos estratégicos del SSP tradicionales. Estas pautas dan orientaciones para el diseño de sistemas que no sólo aborden en serio la integración “silvo” y “pastoril”, sino que incluyan además aspectos como la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de otros servicios ecosistémicos, la consideración de otras dimensiones de análisis (como la social), otras escalas espaciales (como el territorio) y, de tiempo (como la rotación forestal) (Carrazana *et. al.*, 2019).

Un párrafo aparte merece la propuesta del proyecto de pago por servicios ambientales para La Cuenca Perico Manantiales presentado por el Bosque modelo Jujuy.

Los escasos trabajos científicos sobre ecología, crecimiento y el efecto de la competencia sobre la dinámica forestal del Bosque Chaqueño Semiárido de la Provincia de Jujuy, refuerzan la necesidad e importancia de esta tesis.

2.7. Problema de investigación

Uno de los principales problemas para la preservación de los bosques es la deficiente administración de los recursos forestales sin respetar su dinámica y crecimiento (Romano, 2007). Los efectos directos e indirectos del sobreaprovechamiento tienen consecuencias socioeconómicas, ambientales y ecológicas de largo alcance (Orozco Vilchez, 1991). Al modificar las condiciones del bosque primario por un cambio drástico, como ocurre en los casos de un aprovechamiento forestal selectivo, implementación de un sistema silvopastoril o un incendio, surge un bosque secundario con una estructura forestal “residual o remanente” empobrecida biológicamente (FAO, 1994; Araujo, 2003; Blundo y Malizia, 2008). La pérdida de biodiversidad vegetal constituye no sólo un problema para el equilibrio de los ecosistemas naturales, sino que también afecta a las comunidades humanas regionales que sustentan sus frágiles economías en la utilización de los recursos naturales (Martínez Pastur *et al.*, 2004).

Los bosques se explotaron en sucesivos aclareos sin respetar los DMC ni tiempos de reposición hasta agotarlos completamente, En la práctica el aprovechamiento consiste en la extracción de los mejores individuos de mayor diámetro hasta llegar a los de diámetros menores. No existen pautas de manejo solo el conocimiento empírico y el sentido común del productor de turno. Tanto el DMC y los turnos de corta son datos propuestos desde el sentido común sin ninguna determinación científica pareciendo haberse seleccionado subjetivamente y, en general, no corresponden debidamente a los usos y propiedades físico mecánicas de la

madera, con respecto al diámetro. En algunos casos, los DMC no tienen una lógica que coincida con las capacidades de aserrío, ni las demandas del mercado (Fredericksen, 2003)

La zona de los Valles templados de Jujuy que presenta un bioma característico de Bosque Chaqueño Semiárido y ciertas áreas transición con la Yungas, ha sufrido en un periodo de 100 años la deforestación para fines agrícolas, y en los últimos años la inclusión de nuevas superficies a la ganadería en sistemas silvopastoriles, lo cual ha generado numerosos parches de bosques inconexos en diferentes estados estructurales y sucesionales (MSPM, 2003).

La preservación de un paisaje tan heterogéneo, junto con la rica biodiversidad animal y vegetal y, de sus servicios ecosistémicos sólo será posible si se elabora una estrategia de manejo y conservación. Esta estrategia debe buscar la forma de trabajar sobre la matriz boscosa dominante del paisaje, sobre los corredores biológicos y particularmente sobre las tierras privadas y comunales. Para ello, es central la generación de conocimiento y la capacitación técnica de quienes regulan y de quienes toman las decisiones de manejo.

Son escasos los trabajos publicados vinculados a la biometría de este bioma en la región del Noroeste Argentino, muchos de los cuales no son compatibles entre sí o incluyen un solo factor de influencia en su análisis. Los estudios biométricos forestales son la base para el desarrollo de modelos, los cuales son necesarios para conocer la estructura de los bosques, tanto en el presente como a futuro siendo la base para fijar objetivos productivos o de conservación de ellos (Ivancih, 2013).

2.8. Fundamentación del tema propuesto

La realización de esta tesis generará información y conocimiento técnico para la toma de conciencia y decisiones en un sistema de manejo forestal sustentable para promover la actividad forestal orientada a que ocupe un rol económico, social y ambiental destacado en el desarrollo Provincial.

A partir de la revisión de antecedentes y las prioridades de conservación en esta Tesis se busca responder los siguientes interrogantes:

.-¿Cuál son las variaciones de las tasas de crecimiento de las especies luego de intervenciones en la estructura forestal?

.- ¿Qué especies de valor forestal aumentan sus tasas de crecimiento y en qué proporción cuando se realiza la disminución de la competencia interespecífica?

.- ¿Cómo influye cambios en la estructura forestal sobre la presencia y patrón de distribución de la regeneración de las especies arbóreas de mayor interés forestal?

.-¿Cuál es el turno de corta que permita la recuperación productiva del bosque remanente?

Las respuestas a estos interrogantes y las que aún quedan para ser respondidas en estudios futuros servirán para ir construyendo las bases para una gestión sostenible de las reservas de crecimiento presente que se concretarán en productos y servicios en el futuro.

2.9. Estructura de la tesis

En el apartado de revisión de antecedentes se presenta el marco conceptual sobre el uso actual y sus perspectivas futuras del manejo forestal y, la preservación de los bienes y servicios del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy.

La tesis plantea 5 objetivos con los cuales se determina el diagnóstico actual del bosque, estima el crecimiento y proyecta la producción natural de las especies nativas componentes y de interés forestal. Con los datos obtenidos se definió la evolución posible de la masa forestal a partir de modelos matemáticos que emplean la ocupación del rodal, crecimiento de las especies y las tasas poblacionales como variables.

En el capítulo referido a los materiales y método se presentan características estructurales, biológicas, fisiográficas y climáticas del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy y se indica cómo se obtuvieron los datos utilizados en el estudio, así como la metodología empleada con la que se analizó el crecimiento, estructura y distribución de la regeneración, competencia arbórea y la proyección en el tiempo, del crecimiento y producción futura del Bosque.

En el capítulo de resultados, se presentan los mismos en forma de cuadros y figuras con comentarios explicativos, con los datos del crecimiento, regeneración y influencia de la competencia sobre el crecimiento se proyectó la distribución estructural del bosque en distintas situaciones de manejo. Luego se agrega una discusión de los resultados que sugiere las limitaciones y aplicaciones teóricas prácticas de estos.

En el último capítulo se presentan las conclusiones del estudio sobre cada uno de los aspectos tratados, respondiendo los interrogantes expuestos en el planteo del problema.

3. Material y método

3.1. Área de estudio

Esta área también denominada Chaco Serrano (Cabrera, 1976) o Valles templados bajos (Braun, 2001) o Valle de Los Pericos (MSPM, 2003), abarca los sectores de las Provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Luis y Córdoba. En particular en Jujuy se extiende entre las sierras subandinas a la salida del cordón montañoso, en un rango altitudinal entre 800 a 1300 msnm. Representa un área de 750.000 ha donde conviven la Selva de Yungas y el Bosque Chaqueño Semiárido, creando un ecotono con una gran biodiversidad donde están presentes *A. colubrina* var. *cebil*, *C. multiflorum*, *P. rhamnoides* especies vegetales características de Yungas y *S. lorentzii*, *A. quebracho blanco*, *C. paraguariensis* especies vegetales características del Bosque Chaqueño (Cabrera, 1976; Brown *et al.*, 2002; POT, 2007; Humano *et al.*, 2014).

El clima es subtropical serrano, con estación seca, temperatura promedio anual de 18 °C y un régimen de precipitaciones orográficas monzónico con 650 mm anuales y déficit hídrico comprendido entre abril y noviembre (Buitrago, 2002), caracterizando al lugar como de clima semiárido (Braun, 2001).

Los suelos corresponden a la serie Loma Atravesada ubicada en Área III: Palpalá – Cañadón. Al Oeste limita con la zona de pedemonte, principalmente con el cono cuyo ápice lo constituye la loma atravesada, la cual toma su nombre. Al centro y al Norte limita con la serie Los Alisos y Loma del Medio. Continuando más hacia el Este en una bajada aluvial, ocupando

los interfluvios y dominando toda la zona, interrumpiéndose en la parte distal, donde limita con las series El Pongo y El Carmen. Al Norte se limita con las series Palpalá y Complejos Huaicos.

El suelo es un Argiustol vértico con fuerte desarrollo, drenaje imperfecto, caracterizado por horizonte argílico B2t, fuertemente estructurado –hasta 50 cm –con textura arcillosa a arcillo limosa (50-60%); concreciones ferromagnéticas y calcáreas en subsuelo. CIC alta a mediana, contenido de materia orgánica variable, al igual que el N (muy bajo a moderadamente alto). Contenido de P con valores elevados y valores altos de K (Nadir y Chafatinos, 1990)

El relieve está conformado por valles abiertos (depresión colmatada, en forma de abanico achatado), la zona pedemontana dominada por un extenso abanico aluvial con pendientes entre 1 y 5%. Este es el escenario de los principales poblados y actividades humanas de la cuenca (Braun, 2001).

El área se ubica en las provincias geológicas de Cordillera Oriental y Sierras subandina donde dominan rocas sedimentarias y epimetamórficas correspondientes formaciones del Precámbrico, Cámbrico, Ordovícico y Terciario y diversas unidades de sedimentitas cuaternarias poco consolidadas, de origen glacial, periglacial y aluvial. Esta zona presenta buenas condiciones de recarga para los acuíferos subterráneos debido principalmente a fracturación y clivaje de las rocas, que permiten no solamente la incorporación del agua de lluvia, sino también del deshielo del ambiente periglacial y de los episodios de granizo y nevadas (Braun, 2001; MSPM, 2003).

El área de estudio pertenece a la cuenca del río San Francisco, tributario del Bermejo, el cual pertenece a su vez a la Cuenca del Plata. La cuenca Los Pericos-Manantiales no es una cuenca clásica superficial, de hecho comprende diferentes cuencas, el río Perico al norte, el río Las Pavas al sur y varios arroyos en el Este, en el sector de Manantiales (MSPM, 2003).

3.2. Características particulares del área de estudio

El trabajo se realizó en un predio de 110 ha correspondiente al Campo Experimental “Dr. Emilio Navea” (24° 21’ 8” S; 65° 11’ 28” O) situado en el paraje Severino en el Departamento del Carmen, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy. Distante a 25 km de la ciudad de San Salvador de Jujuy, con una altitud de 900 msnm. La vegetación característica es el Bosque transicional, dominada por elementos xerofíticos (Braun, 2001), donde las especies arbóreas predominantes son *A. quebracho blanco*, *C. paraguariensis*, *A. colubrina*, *P. excelsa* y *S. lorentzii* (Cabrera, 1976, Brown *et al.*, 2002,

Humano *et al.*, 2012)(Figura 2). Con un AB de 20 m²/ha y una densidad de 310 ind./ha (Humano *et al.*, 2012).

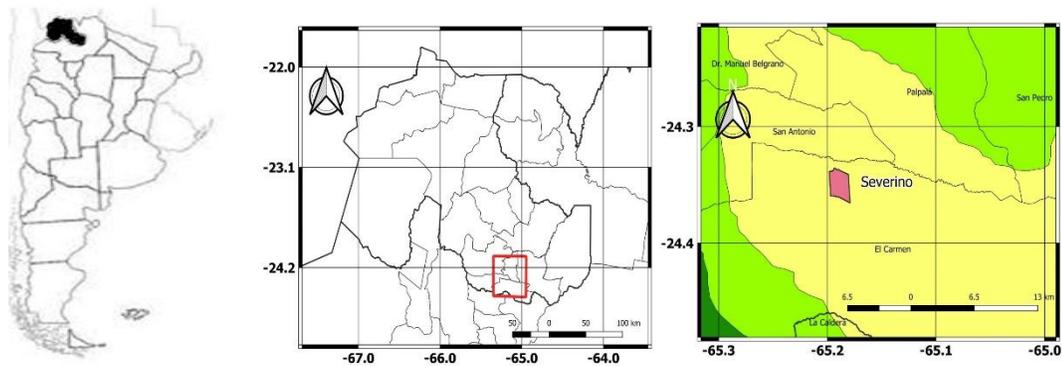


Figura 2.- Ubicación área de estudio.

El predio posee una fisonomía de fragmentos de bosque con diferentes historias de uso y en diferentes estados sucesionales. La mayor parte del predio se destina a la agricultura y a ensayos experimentales denominadas áreas transformadas (55 ha), un área destinada a manejo silvopastoril (30 ha), otra destinada a Conservación privada de Bosque nativo (20 ha) y el resto son zonas de conservación por disposición legal (5 ha). Esta clasificación corresponde al Plan de Ordenamiento Predial (POP, 2012).

3.3. Sectorización del área de trabajo

A los fines del presente estudio, el predio se sectorizó en las siguientes áreas.

a) **Área de conservación (BC)**

Abarca una superficie de 20 ha de conservación bajo dominio privado destinada a la preservación de la biodiversidad, la cual además sirve como amparo para la fauna y reposo de las aves en sus movimientos migratorios y reproductivos. Esta área está clausurada y no hubo intervenciones desde hace 25 años.

El sitio posee un suelo con una profundidad de 110 cm a 130 cm, con presencia de un horizonte argílico B2t, con horizontes superficiales franco y subsuelo arcilloso. La estructura se presenta en bloques moderados y prismas fuertes. El color en los horizontes superficiales

y subsuperficiales es pardo rojizo oscuro en húmedo, no presenta pedregosidad, contienen un material original de depósitos aluviales derivados de rocas del terciario, con buena capacidad de retención de agua y los valores correspondientes a la infiltración básicas son medios a bajo, con PH débilmente ácido a neutro. El contenido de la materia orgánica presenta valores altos a muy altos, superiores a 5%. El Nitrógeno se encuentra en contenidos normales (0,14 a 0,19) en los horizontes superficiales, en directa relación con los contenidos de materia orgánica. El Fósforo asimilable presenta valores normales a altos, con los mayores contenidos en los horizontes superficiales. El Potasio, en general tiene valores que van de normales a altos. En cuanto a los cationes de intercambio, presentan un alto porcentaje de saturación de bases, mayor al 60 %, de las cuales el Ca^{++} se encuentra en mayor proporción, siguiéndole en orden decreciente Mg^{++} y en mucha menor proporción Na^+ y K^+ . La salinidad es baja, considerándose suelos no salinos.

El relieve predominante es suavemente ondulado y con pendiente entre 1% y 2 %. Con relación a la estructura arbórea, el sitio posee un AB de 21 m^2/ha y una densidad de 350 ind./ha.

La altura del piso superior es de 12 m a 15 m, el intermedio de 8 m a 12 m, el intermedio de 7 m a 10m y el inferior de 5 m a 7 m. Las especies que dominan en el piso superior son *R. laxiflora*, *A. colubrina* var. *cebil*, *P. excelsa*, *C. paraguariensis*, *Geoffroea decorticans* y *S. lorentzii*. Las especies que dominan el piso medio son *C. paraguariensis*, *Acacia praecox* (Garabato), *R. laxiflora*, *Z. mistol* y *P. Rhamnoides* (Palo amarillo). Las especies predominantes en el piso inferior son *C. paraguariensis*, *Z. mistol*, *A. colubrina* var. *cebil*, *R. laxiflora* y *A. praecox*.

La cobertura del estrato arbóreo, estimada por la proyección ortogonal de las copas de todos los individuos, es del 90 al 110 % referida a la ha (Figura 3).



Figura 3 . Fotografía del bosque en el área de conservación.

b).- Área de Bosque Intervenido (BI)

Se trata de 20 ha donde desde hace 25 años se realizaron cortas de aprovechamiento según DMC con una periodicidad de 10 años.

El sitio posee un suelo con una profundidad de 110 m a 130 cm, de textura franco arcillo arenosa. La estructura se presenta en bloques moderados y prismas fuertes, el color en los horizontes superficiales y subsuperficiales pardo rojizo oscuro en húmedo, no presenta pedregosidad, con buena capacidad de retención de agua e infiltración media a baja. El PH es neutro (6,9), contenido de materia orgánica con valores altos a muy altos, superiores a 5%. El Nitrógeno se encuentra en contenidos normales (0,14 a 0,19). El Fósforo asimilable presenta valores normales a altos, con los mayores contenidos en los horizontes superficiales. El Potasio en general se considera que presenta valores normales a altos. La salinidad es baja considerándose suelos no salinos.

Presenta un relieve predominante suavemente ondulado y con pendiente > 5 %.

La estructura arbórea del sitio posee un AB 15 m²/ha, una densidad de 170 ind./ha, siendo las especies predominantes son las *A. colubrina* var. *cebil*, *P. excelsa*, *Prosopis nigra*, *G. decorticans* y *Z. mistol*.

La cobertura arbórea estimada por la proyección ortogonal de las copas de todos los individuos es del 60 % referida a la ha (Figura 4).



Figura 4. Fotografía del bosque intervenido sin clausura.

c).- Área Bosque sin Intervención (BSI):

Comprende 8 ha con características estructurales de bosque primario que no fueron clausuradas. Estructuralmente el sitio posee un AB 19 m²/ha y una densidad de 310 ind./ha. Las especies que dominan en el piso superior son *A. colubrina var. cebil*, *P. excelsa*, *Celtis tala*, *R. laxiflora* y *P. nigra*. Las especies que dominan el piso medio son *C. paraguariensis*, *A. colubrina var. cebil*, *C. tala* y *P. excelsa*. Las especies predominantes en el piso inferior son *C. paraguariensis*, *R. laxiflora*, *A. colubrina var. cebil* y *Z. mistol*. Este sitio posee una cobertura del 110% referida a la ha y una pendiente entre 5% y 10% (Figura 5).



Figura 5. Fotografía del bosque sin intervención y sin clausura.

A los fines de identificar los tratamientos, las denominaciones que se utilizaron en adelante son: BC (Bosque en Conservación); BI (Bosque Intervenido) y BSI (Bosque Sin Intervención).

3.4. Obtención de los datos

En los sitios de BI y BSI se instalaron parcelas permanentes, en las cuales se etiquetaron los individuos mayores a 10 cm de DAP. La instalación de las parcelas conjuntamente con la primera medición de diámetros fue en agosto de 2009 y las remediciones se hicieron en agosto de 2011, agosto de 2013 y agosto de 2015.

En cada sitio se etiquetaron todos los individuos relevándose las siguientes variables:

Variable / Parámetro	Descripción
Especie	Se identifica por el nombre científico utilizándose bibliografía específica para la Provincia Fitogeográfica de Yungas y Bosque Chaqueño (Biloni, 1990; Digilio y Legname, 1966; Dimitri <i>et al.</i> , 2000).
DAP	Diámetro medido a 1,3 m de altura por encima del suelo con cinta dendrométrica. Las mediciones son registradas al milímetro.
Altura total (ht)	Distancia desde el nivel del suelo hasta el ápice.
Altura de fuste (hf)	Medida desde la base del tronco hasta el inicio de la copa.
Posición vertical	Clasificación de los individuos según la estructura vertical del vuelo (Lamprecht, 1990), categorizándose en Piso superior (PS)(altura $>2/3$ de la altura superior del vuelo), Piso medio (PM)($<2/3 > 1/3$ de la altura superior del vuelo) y Piso inferior (PI)($<1/3$ de la altura superior del vuelo).
Cobertura de copa	Se mide por la proyección ortogonal de la copa en el terreno, medida en dos direcciones perpendiculares o con ángulos variables.

Las especies de valor forestal maderable consideradas en este estudio son *A. colubrina*, *A. quebracho blanco*, *P. excelsa*, *S. lorentzii* y *C. paraguariensis*.

3.5. Estudio del crecimiento

3.5.1. Estimación del crecimiento diamétrico

Para estimar el crecimiento de los individuos en cada situación, se utilizó el DAP medido en cuatro oportunidades. Con la siguiente fórmula se calculó el Incremento periódico medio anual (IPMA) de cada individuo expresado en mm/año:

$$IPMA = \left(\frac{DAP_{2015} - DAP_{2009}}{n} \right)$$

Donde:

DAP₂₀₀₉: DAP del individuo en la primera medición.

DAP₂₀₁₅: DAP del mismo individuo en la última medición.

n: años del período.

Con los valores de IPMA se realizó un análisis de la dispersión de datos de los individuos por tipo de bosque y definir una tendencia que pueda ser expresada por una ecuación. Al no ser posible, se agruparon los datos por categoría diamétrica para calcular el crecimiento con la siguiente fórmula (Araujo, 2003):

$$CPA_i = \left[\sum_1^K \frac{D_{i,j+1} - D_{i,j}}{K} \right] / P$$

Donde:

CPA_i = Crecimiento periódico medio anual por árbol en la clase i;

D_i= Diámetro del individuo de la clase i a 1,30 m;

j = Momento de la medición del diámetro;

P = Período de tiempo entre las mediciones;

k = N° de individuos de la clase.

Con esta fórmula se obtuvieron los crecimientos promedios anuales (CPA) que se derivan de las mediciones en las parcelas permanentes.

Además se calculó para cada tipo de bosque la tasa de crecimiento anual porcentual (TGA):

$$TCA (\%) = \left(\frac{Dap_{2015} - Dap_{2009}}{Dap_{2009} \times n} \right) \times 100$$

Siendo:

n: número de años del periodo.

Con los datos acumulados de crecimientos promedios anuales acumulados (CPA) por cada clase diamétricas se realizó un análisis de regresión para ajustar una ecuación al crecimiento en cada tipo de bosque (Meza *et al.*, 2003; Araujo, 2003; Humano, 2013).

Se ajustó un modelo no lineal para la dispersión de los datos de CPA's acumulados correspondientes a BSI y BI. El modelo tuvo como variable respuesta los Incrementos diamétricos medios y como variable predictora la clase tamaño de DAP.

Con los modelos obtenidos se obtuvo los IPMA ajustados con los se calculó el tiempo de paso por cada clase diamétrica para los individuos de BI y BSI. En cada clase se divide el tamaño por el IPMA ajustado y se obtiene el tiempo de paso de los individuos por las clases de tamaños (Araujo, 1993; Meza *et al.*, 2003). Con esta metodología puede deducirse el ciclo de corta para cada tipo de bosque, considerando el tiempo que necesita los individuos en alcanzar al clase de cortabilidad (30 a 39,9 cm).

3.5.2. Modelado del crecimiento

Se obtuvieron las Curvas de crecimiento para las especies para las especies de mayor valor de interés forestal (*S. lorentzii*, *A. colubrina* y *P. excelsa*) para ello la metodología desarrollada es la propuesta por Lieberman y Lieberman (1985). Con el grupo de datos de incrementos anuales se generó una matriz de transición $n \times 2$, donde D_{ij} es el DAP del árbol i en el año j , $j= 1$ (2009) o 2 (2015); para cada una de las especies de valor forestal. La matriz de transición opera sobre un árbol modelo, con sucesivos tamaños proyectados de incrementos específicos obtenidos de los datos relevados. Cada manipulación crea una trayectoria de crecimiento del árbol modelo. La simulación del crecimiento genera una serie de trayectorias, produciendo numerosos valores de DAP para cada edad o clase diamétrica (10 cm). En la simulación del tránsito por las distintas clases diamétricas, el árbol modelo

emplea cantidades variables de tiempo en cada clase diamétrica fija; el procedimiento así produce numerosos valores de DAP (edad), para cada tamaño de clase diamétrica.

Cuando un gran número de curvas de crecimiento (> 500) son simuladas, se obtiene estimaciones de rangos, predicción de intervalos, medias y medianas, que fielmente refleja la variación en la tasa de crecimiento según los datos brutos.

Las sentencia en el modelo son intervalos de clase diamétrica 10 cm, período de crecimiento empleado 5 años (correspondientes a la remediación), intervalos de confianza del 2,5 y 97,5 % ($\alpha=0,05$).

Para la obtención de las curvas de crecimiento se empleó el programa estadístico Project R (R Development Core Team 2007).

A partir de las curvas de crecimiento obtenidas se estimó el tiempo que emplea cada especie en lograr su DMC el cual está especificado en la Resol. 81/2009 SGA-Provincia de Jujuy.

3.5.3. Diferencias de crecimiento

Se evaluó el supuesto de la normalidad de los datos de crecimiento, para BI y BSI, con un test de Shapiro Wilks y un gráfico de distribución Q-Q plot.

Para verificar si existen diferencias entre los crecimientos para cada tipo de bosque (BSI vs BI) considerando todas las especies, se utilizó el test no paramétrico de Kruskal Wallis ($\alpha=0,05$).

A partir de los datos de CPA's de cada individuo de valor forestal se estimaron las diferencias del crecimiento entre BSI y BI, según las clases diamétricas y la posición vertical.

Para los datos de distribución diamétrica por especie o tipo de bosque se utilizaron clases diamétricas de 10 cm de amplitud según lo dispuesto por la Resol. 81/2009 SGA-Provincia de Jujuy.

También se estimaron diferencias entre los crecimientos de las especies según su tolerancia. Además se estimaron diferencias entre los crecimientos de las especies en cada tipo de bosque (BSI y BI) y de las mismas entre cada tipo de bosque (BSI vs BI) utilizando en todos los casos el test no paramétrico de Kruskal Wallis ($\alpha=0,05$) (Humano, 2013).

3.5.4. Diversidad entre Sectores (BI-BSI)

La diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje (Moreno, 2001). La medición de la diversidad beta está basada en proporciones o diferencias, que se evaluó con índices de similitud-disimilitud. A través de los índices de similitud/disimilitud, se determinó cuan semejantes son los sitios según su composición y estructura. Se empleó el Índice de Sorensen (I_s) es el más utilizado para el análisis de comunidades y permite comparar dos comunidades mediante la presencia/ausencia de especies en cada una de ellas, relaciona el número de especies en común con la media aritmética de las especies de ambos sitios. De todos los coeficientes con datos cualitativos, es el más satisfactorio (Mostacedo y Fredericksen, 2000; Romano, 2007).

$$I_s = \frac{2c}{a + b} \times 100$$

Donde:

a = Número de especies encontradas en la comunidad A

b = Número de especies encontradas en la comunidad B

c = Número de especies comunes en ambas localidades

y, el Índice de Jaccard (I_j) que utiliza datos cualitativos, es muy similar al de Sorensen. El intervalo de valores para este índice va de 0 (no hay especies compartidas), hasta 1 (los dos sitios tienen la misma composición) (Moreno, 2001).

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a = Número de especies encontradas en la comunidad A

b = Número de especies encontradas en la comunidad B

c = Número de especies comunes en ambas localidades

3.6. Estudio de la regeneración

3.6.1. Diseño del muestreo

La metodología empleada para el muestreo de la regeneración en BC y BI consiste en realizar parcelas circulares de 500 m^2 separadas entre si por 100 m distribuidas en forma sistemática a lo largo de las fajas, y distancia entre fajas de 40 m , totalizando 40 parcelas, lo que representa una intensidad de muestreo del 13% . En cada parcela de 500 m^2 se establecerán cuatro subparcelas, donde se mide la regeneración natural. Cada subparcela se ubica a 6 m del centro de la parcela principal y a los 45° , 135° , 225° y 315° , respectivamente. La superficie es de 12 m^2 (Figura 6).

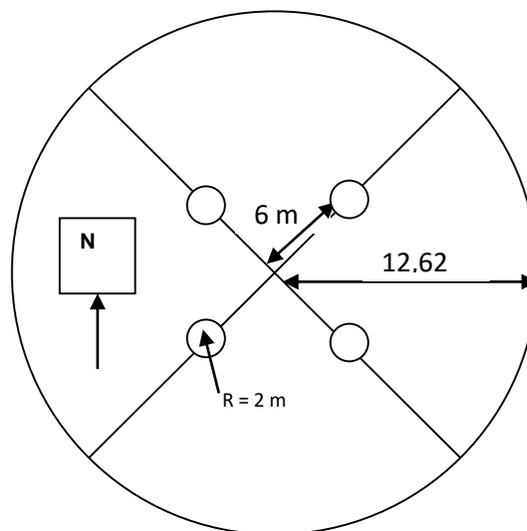


Figura 6. – Ubicación de las parcelas de regeneración.

3.6.2. Toma de datos

Se consideraron los siguientes tamaños de regeneración:

Categoría I: individuos $\leq 0,30 \text{ m}$;

Categoría II: individuos $> 0,30 \text{ m}$ hasta $1,50 \text{ m}$ de altura y $\text{DAP} \leq 10 \text{ cm}$;

Categoría III: individuos mayores a $1,50 \text{ m}$ y entre $5 \text{ cm} > \text{DAP} \leq 10 \text{ cm}$.

En las subparcelas se registraron las categorías de regeneración natural (Guzmán, 2001; Araujo, 2003; Gómez, 2011).

Se consideró regeneración a aquellos individuos con $DAP \leq 10$ cm y las especies de interés que fueron elegidas principalmente por criterio comercial son: *A. colubrina*, *A. quebracho blanco*, *P. excelsa*, *S. lorentzii* y *C. paraguariensis*.

En cada individuo registrado se determinó la especie, se midió el DAP, DAC (diámetro altura al cuello expresada en cm), la altura total y sanidad.

Para estimar la posibilidad de la llegada de luz al sotobosque se calculó la Cobertura arbórea de cada sitio, definida como el porcentaje de suelo recubierto por la proyección perpendicular de las copas del total de la masa vegetal (Fonseca y Vásquez, 1999) utilizando el método de ángulo variable.

3.6.3. Análisis de los datos

3.6.3.1.- Análisis estructural de la regeneración

3.6.3.1.1.- Abundancia

Se calculó la Abundancia absoluta de acuerdo a la definición de Matteucci y Colma (1982), donde establece como abundancia al número de individuos de una especie en un área determinada. La Abundancia relativa (AR) indica el porcentaje de participación de cada especie, referida al número de individuos totales encontrados por hectárea, multiplicado por 100.

$$A_r = \frac{A_i}{\Sigma A} \times 100$$

Donde:

Ar: Abundancia relativa de la especie i.

A_i: Número de individuos de la especie i.

ΣA: Sumatoria de individuos de todas las especies.

3.6.3.1.2.- Frecuencia

La frecuencia es un índice que ayuda al interpretar la distribución espacial de la regeneración, mediante la dispersión media y su grado de homogeneidad. la frecuencia de un

atributo es la probabilidad de encontrar dicho atributo en una unidad muestral particular (Matteucci y Colma, 1982). El cálculo se basa en el número de subdivisiones de la parcela en que están presentes los individuos de una especie, indicando de esta forma su dispersión dentro de la comunidad vegetal (Arroyo Padilla, 1995; Bascope y Jorgensen, 2005). Para calcular la frecuencia absoluta se registró la existencia o la ausencia de una especie determinada. La frecuencia absoluta se expresa en porcentaje (Lampretch, 1990).

$$F_a = \frac{O_i}{\Sigma O} \times 100$$

Donde:

F_a: Frecuencia absoluta de la especie i.

O: Número de ocurrencia de la especie i.

Σ O: Número total de ocurrencias posibles.

3.6.3.1.3.- Clases de tamaño de la regeneración

Para calcular el valor absoluto de la Clase de tamaño de cada especie, se sumaran los valores fitosociológicos de cada categoría de tamaño.. Cada categoría de tamaño es una porción de la regeneración contenida dentro de determinados límites de altura y tamaños de DAP, fijados subjetivamente. En este trabajo se distinguen tres categorías: I, II y III. Siguiendo la metodología propuesta por Finol (1976), se asignó un valor fitosociológico a cada categoría de tamaño, el cual se obtuvo por el cociente entre el número de individuos en categoría de tamaño y el número total de regeneración de todas las especies:

$$VF_j = \frac{n_j}{N}$$

Donde:

VF_j: valor fitosociológico de la categoría de tamaño.

n_j: números de regeneración en la categoría de tamaño.

N: números total de individuos de la regeneración.

j: categoría de tamaño I, II y III.

Esos valores se obtendrán por el producto del Valor Fitosociológico de cada categoría y el N° de individuos de la especie en esa misma categoría de tamaño:

$$CT = VF_I + VF_{II} + VF_{III}$$

Donde:

VF: Valor fitosociológico de la categoría de tamaño.

I,II,III: categorías de tamaño de la regeneración natural.

Con la abundancia, frecuencia y tamaño de la regeneración natural se obtendrá el índice *Regeneración natural relativa* (RNr) para cada especie según la siguiente expresión (Finol, 1971; Araujo, 2003):

$$RN_r = \frac{(A_rRN + F_rRN + CT_rRN)}{3}$$

Donde:

RNr: Regeneración natural relativa en %.

ArRN: Abundancia relativa de la regeneración natural.

FrRN: Frecuencia relativa de la regeneración natural.

CTrRN: Categoría de tamaño relativa de la regeneración natural.

A través de un análisis de regresión se relacionó la abundancia de regeneración natural con el AB (m²/ha) y la cobertura arbórea de cada sitio (Wenzel y Hermman, 1998; Humano, 2013).

Utilizando el histograma de frecuencias (Lamprech, 1990) se clasificaron las frecuencias absolutas según la Tabla 7. La clase A es la que agrupa a las especies menos frecuentes y la clase E donde se encuentran las especies más frecuentes, siendo C el nivel intermedio de este gradiente en cuanto a frecuencia absoluta.

Tabla 7. Clasificación de frecuencias absolutas.

Clases de frecuencia	
A	1 – 20 %
B	21 – 40 %
C	41 – 60 %
D	61 – 80 %
E	81 – 100 %

Para verificar si existen diferencias entre la abundancia de la regeneración para cada tipo de bosque considerando todas las especies, se utilizó el test no paramétrico de Kruskal Wallis ($\alpha=0,05$).

Una vez realizadas las comparaciones interespecíficas se efectuaron comparaciones pareadas entre las abundancia de las especies usando la prueba no paramétrica U de Mann Whitney ($\alpha=0.01$), para probar la hipótesis de que hay diferencias en la abundancia entre pares de especies para cada tipo de bosque (Glass y Stanley, 1988; Norman y Streiner, 1996; Guzmán, 2001).

3.6.3.2. Análisis de la distribución espacial de la regeneración

Se realizaron 4 parcelas contiguas de forma cuadrada (50 m x 50 m) totalizando 2 ha de área de muestreo en BC y BI. Cada parcela fue subdividida en 25 subparcelas de 5 m x 5 m. Dentro de cada subparcelas se identificó la regeneración establecida (> 25 cm de altura y < 10 cm DAP) de las especies arbóreas. Se referenció cada individuo a partir de coordenadas ortogonales (X, Y) de acuerdo al vértice de la parcela.

3.6.3.2.1.- Análisis de los datos

Con los datos de las coordenadas ortogonales de los individuos se estudió el patrón de distribución de los mismos. Si existe agrupación, regularidad o si el patrón es aleatorio

El análisis de la distribución de la regeneración natural se realizó utilizando el software "Programita" (Wiegand y Moloney, 2004). En el caso de BI el patrón de distribución de la regeneración se analizó usando el método univariado O-ring (Wiegand y Maloney, 2004), para determinar la agregación a pequeña escala de las plántulas. El método O-ring está estrechamente relacionado con la Función K de Ripley (Ripley, 1981) y a la función pair-correlation g (Stoyan y Stoyan, 1994) con las cuales se analiza la distancias entre puntos. Específicamente el método univariado O-ring implica la utilización de un anillo de radio r y ancho dr que es centrado en cada punto del patrón, en el que se cuentan el número de puntos vecinos que se encuentran dentro del mismo, por lo tanto es necesario especificar el ancho de anillo. Esto implica un procedimiento intuitivo ya que no es posible formular reglas para la determinación del mismo. En todo caso el anillo no debe ser demasiado ancho para evitar los

problemas de adicionalidad o memoria y tampoco demasiado fino para evitar perder los efectos en las diferentes escalas (Wiegand y Moloney, 2004).

Para n individuos distribuidos en un área A , la densidad ($d=n/A$) es el número promedio de individuos por unidad de área. La función $O(r)$ es el número esperado de puntos dentro de un anillo de radio r centrado en un punto arbitrario del patrón.

Para un análisis en conjunto, se analizaron los datos combinando las 4 parcelas de acuerdo al procedimiento sugerido por Diggle (2003), para lo cual se estima el r promedio ponderado de puntos del patrón tomado sobre todas las réplicas o parcelas.

En el caso de BC el patrón de distribución de la regeneración fue analizado usando un análisis univariados. Se utilizó el modelo CSR de Poisson (Complete Spatial Randomness) que resulta apropiado en condiciones de homogeneidad ambiental para determinar una distribución espacial completamente al azar.

En ambos casos los límites de confianza al 95% se obtuvieron mediante 99 simulaciones Monte Carlo (Haase, 1995).

De esta manera valores $O(r) > \lambda$ indicarán agrupamiento, mientras que valores $O(r) < \lambda$ indicarán repulsión o regularidad (Wiegand y Moloney, 2004).

3.6.3.3. Diversidad entre Sectores (BC-BI)

Se determinó la similitud/disimilitud en la composición de especies entre BC y BI con la misma metodología de ítems que ítem 3.5.4

3.7. Competencia

Mediante la determinación de Índices de competencias se relacionó la influencia de la competencia sobre el crecimiento diamétrico de dos especies de valor forestal *A. colubrina* y *S. lorentzii*.

3.7.1. Determinación de los Índices de competencia

Los índices de competencia empleados se clasifican en dos categorías (Munro, 1974).

Tipo de índice	Descripción
A.- Índices independientes de la distancia	No tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles y evalúan la competencia con variables de masa, asumiendo que todos los árboles compiten entre sí (<i>Índice factor de competencia de copa</i> (FCC)).
B.- Índices dependientes de la distancia	Tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles. Se considera que las variables de masa no son suficientes para explicar la competencia ejercida por los árboles vecinos. Su empleo requiere un criterio que establezca qué árboles compiten realmente con el árbol analizado y en qué grado lo hacen (Álvarez <i>et al.</i> , 2003) (Índice de Hegyi e Índice de Daniels)

3.7.1.1.- Índices independientes de la distancia

1.- *Índice factor de competencia de copa* (FCC) o Espacio individual de crecimiento (Krajicek *et al.*, 1961).

La metodología para obtener este índice es la propuesta por Chauchard *et al.* (2001) y Hernández *et al.* (2013). Con este índice se obtiene el “espacio de crecimiento individual libre de competencia”, a partir del cual existe competencia inter o intra específica entre los individuos. El FCC indica el límite inferior en la densidad del bosque (ind./ha, m²/ha, etc.) por encima del cual los individuos empiezan a competir, por lo que también es llamado límite de inicio de la competencia.

Se identificaron los individuos a medir libres de competencia de acuerdo con la metodología empleada por Krajicek *et al.* (1961), adaptada al bosque nativo. Se basa en seleccionar árboles que presenten las siguientes características: copas libres de competencia en todos sus lados; ramas extendidas desde la base en árboles pequeños y desde un metro a partir de la base en árboles grandes; ramas inferiores más largas o, al menos, tan largas como las que le siguen hacia arriba; fuste libre de bifurcaciones hasta los cinco metros de

altura; árboles sin evidencia de poda, cortes de corteza, daños de tormenta y ataques de plagas; árboles no originados de rebrote de cepas.

A cada árbol que cumpla con esas condiciones se les medirá DAP, altura total y proyecciones de la ortogonal de la copa con el método de ángulo variable.

Bajo el supuesto de que existe una correlación entre el diámetro de copa del árbol que creció de forma libre y su diámetro normal (Krajicek *et al.*, 1961), se generaron los coeficientes de regresión lineal del modelo:

$$Dc = \beta_0 + \beta_1 d$$

Donde:

Dc: Diámetro de copa (m)

D: Diámetro normal promedio (cm)

β_0 : Coeficiente de regresión

β_1 : Coeficiente de regresión

Con el Dc se obtendrá el Área de copa, la cual expresa en términos de porcentaje de una hectárea el área máxima de terreno que puede ocupar la copa de un árbol de un diámetro normal dado. Se determinó el área de copa de árboles individuales (ac) en m^2 , mediante la ecuación:

$$ac = 0,7854 * (Dc)^2$$

Cuando se redefine ac por área máxima de copa individual ($amci$), se desarrolla el binomio al cuadrado, de acuerdo a Krajicek *et al.* (1961),

$$amci = 0,7854 * (\beta_0 + \beta_1 d)^2$$

Para el cálculo de espacios de crecimiento (Ec), número de árboles por hectárea (nah^{-1}) y AB por hectárea (abh) se utilizan las siguientes expresiones:

$$Ec (\%) = \left(\frac{(0,7854) * (\beta_0 + \beta_1 d)^2}{10000} \right) x 100$$

Donde:

$Ec (\%)$ = Espacio de crecimiento en porcentaje de superficie.

Finalmente se determinó el número de árboles en la hectárea (nah^{-1}) que se encuentran en una situación límite, superada la cual se iniciará el proceso de competencia, mediante la siguiente expresión.

$$nah^{-1} = \frac{100}{acmi} = \frac{100}{0,7854 * (\beta_0 + \beta_1 d)^2}$$

Estableciendo el número de árboles en inicio de competencia para cada clase diamétrica se podrá obtener la línea o límite del inicio de la competencia. Es decir, la expresión permite determinar para cada clase diamétrica el número máximo de árboles que tienen acomodadas sus copas de manera que, sin entrar en competencia, no dejan espacios libres (Chauchard *et al.*, 2001).

Por último, el cálculo del AB de copas (abc^{-1}) se determina con la fórmula siguiente:

$$abc^{-1} = \sum 0,7854 * \left(\frac{D_c}{100}\right)^2$$

Además, para estimar la influencia de la competencia sobre el crecimiento se ajustaron modelos de regresión lineal para los pares de valor incremento promedio anual (mm/año) y densidad del bosque (ind./ha) e incremento promedio anual (mm/año) y AB (m²/ha) (Humano, 2013).

3.7.1.2.- Índices dependientes de la distancia

Para determinar los individuos competidores del árbol control se empleó la Metodología de la Zona de Influencia establecida por Staebler (1951).

3.7.1.2.1. Elección del árbol competidor

La elección de los árboles competidores se basa el concepto de zona de influencia establecido por Staebler (1951). La zona de influencia de un árbol se representa con un círculo cuyo centro está en la base del mismo árbol. Una forma de cuantificar su superficie es a través de la proyección ortogonal de su copa. Se asume que el estado de competencia de un árbol

será función de la extensión en la cual su círculo de competencia se cruza con los círculos de competencia de sus vecinos (Figura 7) (Álvarez *et al.*, 2003).

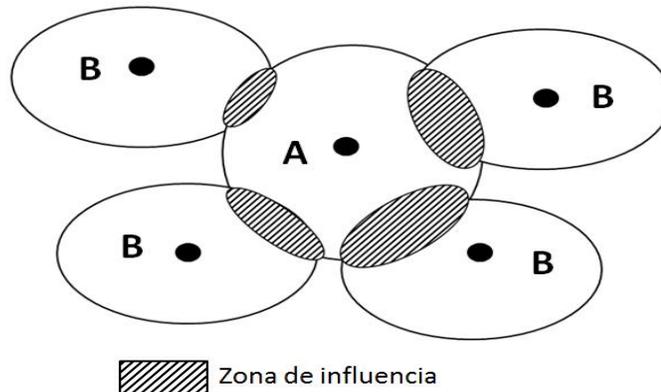


Figura 7.- Zona de influencia. A.- Árbol control. B.- Árbol competidor.

1.- *Índice de Hegyi*. Se usa para analizar la competencia entre los individuos vecinos sobre un individuo control. A partir de este índice se considera, cómo la *distancia* ponderada de los individuos vecinos afecta el crecimiento del individuo control. El índice de competencia utilizado fue el establecido por Hegyi (1974).

$$IC = \sum_{i \neq j} \frac{d_i}{d_j * D_{ij}}$$

Siendo,

d_j : DAP del individuo competidor (cm).

d_i : DAP del individuo control (cm).

D_{ij} : distancia horizontal entre el individuo control y el competidor (m).

2.- *Índice de Daniels*. Para analizar la competencia que ejerce la *cantidad* de individuos vecinos sobre el individuo control se utilizó el índice de Daniels (1976):

$$IC = \frac{d_i^2}{(\sum_{i \neq j} d_j^2 / n)}$$

Siendo,

d_j : DAP del individuo competidor (cm).

d_i: DAP del individuo control (cm).

n: número de competidores (m).

3.7.1.3. Relación entre competencia y crecimiento

Para estimar la influencia de la competencia sobre el crecimiento se ajustaron modelos de regresión lineal múltiple:

$$y = f(x_1 + \dots + x_n) + \varepsilon$$

Donde:

Y: Incremento diamétrico (variable respuesta).

X₁, ..., X_n: Variables que expresan la competencia interarbórea (variables predictoras).

ε: error aleatorio.

Para determinar el crecimiento (variable respuesta) se emplearon los IPMA de los árboles control de *A. colubrina* y *S. lorentzii* remedidos en 3 oportunidades. Las variables que caracterizan el estado de competencia son la de ocupación del bosque, como el DAP (cm) del árbol control, densidad del bosque (ind./ha), cobertura del individuo control (C)(m²) y AB de los individuos vecinos (ABv) (m²/ha) y de vecindad como número individuos vecinos (V), distancia promedio de los individuos vecinos (D) (m) y Posición vertical de los individuos vecinos (PS) (Variables predictoras) (Humano, 2013).

Se elegirá el mejor modelo eliminando la multicolinealidad de las variables a partir del cálculo del Factor de Inflación de la Varianza (VIF):

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}$$

Siendo, R^2 el coeficiente de determinación (coeficiente de correlación múltiple al cuadrado) al efectuar la regresión de x_i vs. las restantes predictoras.

Se realizó una selección del mejor modelo a partir de análisis de stepwise ($\alpha=0,25$) empleando como estadístico la C_p de Mallows:

$$C_p = \frac{SC\ Residual_p}{S^2} - (n - 2p)$$

Siendo

S²: es el CM Residual para el modelo completo,

SC Residual_p: es la SC Residual del modelo con p parámetros incluyendo la ordenada al origen.

Se elige el modelo con las variables cuyo C_p se aproxima más a p (Cantidad de variables predictoras).

3.8. Proyección del crecimiento y producción

Con los resultados obtenidos para la *Regeneración natural y Crecimiento de las especies* se realizó la proyección del crecimiento y producción. La misma se realizó proyectando en el tiempo la distribución diamétrica inicial para diferentes periodos de tiempo. Se obtuvieron también la distribución del AB y la distribución de los volúmenes asociados a las distribuciones diamétricas resultantes.

La base de datos se construyó con las mediciones de los individuos correspondientes a la parcela BSI, efectuadas sucesivamente cada 2 años (2011-2013-2015).

Se calculó el CPA según ítem 3.5.1, las índices poblacionales de permanencia y tránsito, por especies y por clases diamétricas (Humano, 2013).

A partir de los CPA's se calcularon las tasas poblacionales de tránsito (TT) y permanencia (TP) de los individuos para cada clase diamétrica, siendo:

$$TT = \left(\frac{N_i}{N_t} \right) \times 100$$

Donde:

TT= porcentaje de individuos que transitan a clases diamétricas superiores.

N_i=Total individuos de la clase.

N_t= Total de individuos de la clase que transitaron a clase/s superior/es en el periodo (2009-2015).

$$TP = \left(\frac{N_i - N_t}{N_p} \right) \times 100$$

Donde:

TP= porcentaje de individuos que permanecen en cada clases diamétricas.

N_i=Total individuos de la clase en 2009.

N_t=Total de individuos de la clase que transitaron a clase/s superior/es en el periodo (2009-2015).

N_p= Total de individuos de la clase en 2009.

Las tasas poblacionales de mortalidad no se calcularon debido al tiempo acotado del periodo de medición, por ello se emplearon las propuestas por Araujo (2003) para el Bosques en Regeneración del Chaco Semiárido.

A partir de la ecuación de CPA del conjunto de las especies se proyectó la distribución del bosque en la cantidad de años estipulados.

La proyección del desarrollo del bosque durante el período de crecimiento resulta del efecto que tiene cada uno de los componentes que determinan su evolución (crecimientos, tasas poblacionales y mortalidad) sobre la distribución por clases diamétricas de los individuos por ha (Ind./ha), el AB (m²/ha) y el volumen total (m³/ha) (Figura 8).

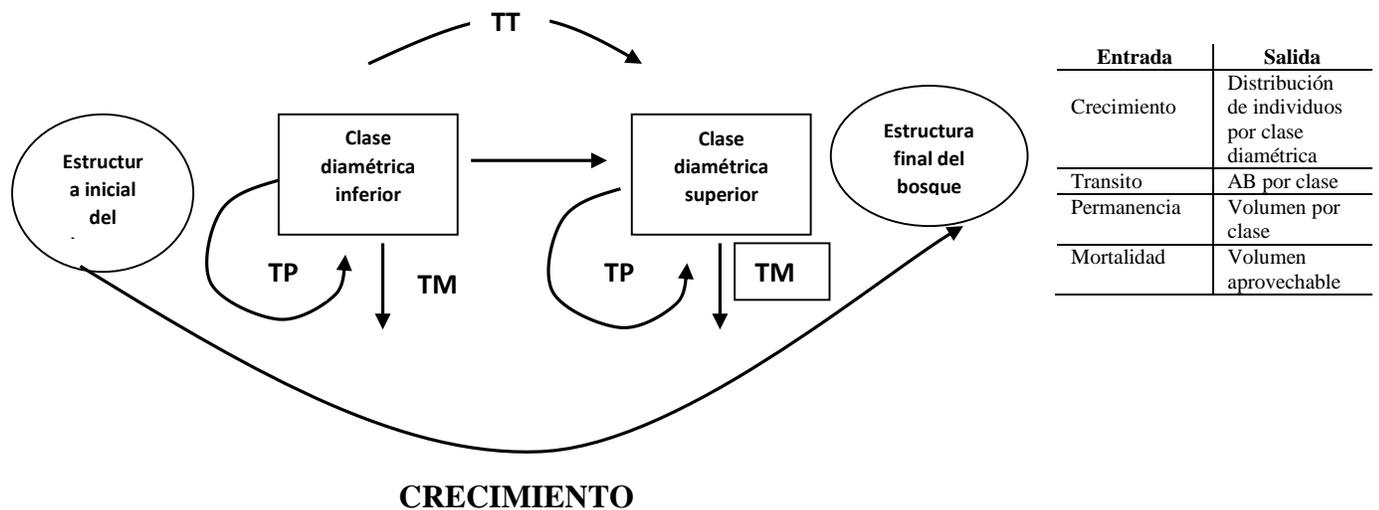


Figura 8.- Proyección de la distribución diamétrica del bosque.

Donde:

TT= tasa porcentual periódica de tránsito de individuos de clases diamétricas consecutivas en el periodo

TP= tasa porcentual periódica de individuos que permanecen en la misma clase en el periodo

TM= tasa porcentual periódica de mortalidad de individuos por clase diamétrica.

3.8.1. Proyecciones del bosque bajo distintos tipos de manejo forestal

Con los datos de crecimiento y las tasas se proyectó la evolución de BSI (por mantener las características estructurales más parecidas al bosque original) generando una base de datos dinámica (Tabla 8) que se estructuró en “Módulos”, para evaluar distintas opciones de manejo forestal, creando distintos escenarios (Humano, 2013). Se trabajó las especies de valor forestal: *A. colubrina*, *A. quebracho blanco*, *P. excelsa*, *S. lorentzii*, *C. paraguariensis*, clasificadas como especies maderables (M), y el resto en su conjunto como no maderables (NM).

Además se definieron las clases diamétricas en:

De 10 a 10,9 cm es la clase inferior. De 20 a 29,9 y 30 a 39,9 cm son las clases intermedias y en adelante las clases superiores.

Tabla 8.- Estructura de la base de datos dinámica

Módulos	Entrada	Proceso	Salida
Cortas Intermedias	.- Tipo de especies a aprovechar (M o NM) .- Tipo de posición vertical de las especies a extraer.	Elimina del bosque las especies elegidas.	.-Nuevo bosque intervenido .-AB (m ² /ha) aprovechada .-AB (m ² /ha) remanente. .- Volumen extraído (m ³ /ha)
Crecimiento	-Años de crecimiento	Estima los IMA por especies	.-Diámetros proyectados de las especies. .-Clases diamétrica por especie proyectada .-Tasas poblacionales del bosque (transito, permanencia) de cada clase diamétrica.
Aprovechamiento	.Definir especies a aprovechar.	Elimina del bosque las especies elegidas.	.-Volumen (m ³ /ha) aprovechado por especie y el total del aprovechamiento.

	.-Definir clase diamétrica a aprovechar por especie.		.-AB remanente (m^2/ha)
Informe de Distribución diamétrica	- N° /clase actual - Masa incorporada - Crecimientos - Mortalidad - Tratamientos	Calcular según ecuaciones	Tabla de N° de individuos por clase diamétrica
Proyección del bosque	.-tasas poblacionales .-Bosque residual pos cortas intermedias y aprovechamiento	Ejecuta proyecciones cada 5 años del bosque en distribución de individuos, AB y volumen por clases diamétricas	Curva de distribución diamétrica por cada periodo. Histogramas del AB y volumen por clases diamétricas
Distribución balanceada	-AB remanente del bosque	Ejecuta la curva diamétrica balanceada del bosque.	.-Histogramas de distribución del AB por clase diamétrica.

Las modificaciones estructurales del bosque se plantearon en el módulo denominado “Cortas intermedias”, en el cual de acuerdo al objetivo de cosecha (volumen- m^3/ha), se pueden plantear distintos tipos de manejo silvicultural con cortas que favorezcan el crecimiento de los árboles de futura cosecha, extrayendo las especies NM de acuerdo su a posición vertical. El módulo genera una salida con una nueva estructura discriminando tipos de especies, clase diamétricas, volumen extraído (m^3/ha), AB extraída (m^2/ha) y AB remanente (m^2/ha).

En el módulo “Crecimiento”, se aplican los CPA’s a las especies, estipulando los años a proyectar. De acuerdo a los años establecidos, los crecimientos harán que los individuos transiten a las clases diamétricas superiores o permanezcan en la misma, permitiendo el cálculo de las tasas de tránsito y permanencia.

En el módulo “Aprovechamiento” se ejecuta la corta por clase diamétrica sobre las especies de valor forestal. El módulo da como resultado una salida en volumen aprovechado (m^3/ha) por especies y total, el AB total extraída (m^2/ha) y el AB remanente (m^2/ha).

En el cálculo del volumen se aplicó el coeficiente de forma de 0,6 (Resol. 81, 2009).

En el módulo “Proyección del bosque”, a partir del bosque manejado o aprovechado se simula la evolución para períodos de 20 años, de la distribución diamétrica, cantidad de individuos por ha (Ind./ha), AB (m²/ha) y volumen total (m³/ha).

En esta instancia en cada periodo se aplican las tasas poblacionales obtenidas del módulo “Crecimiento”.

El módulo puede generar curvas de distribución diamétrica de acuerdo al manejo y aprovechamiento planteado y, los años proyectados.

En el módulo “Distribución balanceada”, a partir del AB residual del bosque post aprovechamiento, se aplicó la teoría de De Liocourt para obtener la Curva de distribución balanceada propuesta por Meyer *et al.*(1961).

En este trabajo se realizó una adaptación a la propuesta de Meyer (1961) donde se propone curvas de distribuciones diamétricas, estas fueron reemplazadas por histogramas de la ocupación del AB (m²/ha) por clase diamétricas en pos de lograr una mejor visualización de los excesos y deficit entre las distintas proyecciones.

De Liocourt concluyó que la normalidad de una masa irregular queda determinada por la existencia de una razón constante entre el número de árboles de clases diamétricas consecutivas. Por lo tanto, para una determinada densidad del rodal, la distribución diamétrica puede ser descrita por el promedio de ese cociente. Esta expresión puede ser expresada en el modelo exponencial de Meyer *et al.* (1961):

$$y = k e^{-ax}$$

Esa ecuación puede transformarse en una función lineal aplicando logaritmos:

$$\ln y = \ln k - a * \ln e ,$$

que puede expresarse como:

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_i.$$

La función lineal permite establecer relaciones entre el AB (**G**), el diámetro máximo (**D**) y el cociente de De Liocourt (**q**), que posibilitan calcular el coeficiente β_1 para un valor de **q** elegido y de β_0 para una determinada AB.

Para determinar el número de árboles por ha y por clase diamétrica, se fijaron esos parámetros de acuerdo con las características estructurales del sitio.

El AB (**G**) remanente se fijó para las clases diamétricas inferiores y medias para favorecer el crecimiento de los árboles de mayores diámetros. El diámetro máximo (**D**) a mantener depende de los objetivos del manejo y del tipo de productos a extraer.

La elección de los valores de esos parámetros determina la posición de la curva y la pendiente. El diámetro máximo marca el límite sobre el eje de las abscisas. El AB residual determina la posición de la curva con respecto al origen y la pendiente queda definida por el cociente **q**. Una vez establecidos los parámetros **G**, **q** y **D**, pueden relacionarse con la frecuencia por clase de diámetro calculando los coeficientes del modelo lineal representativo de la distribución. A partir de los resultados, que se obtienen de las expresiones de β_0 y β_1 , es posible construir la distribución de frecuencias que se desea mantener en el futuro.

Al final del proceso se construyó un gráfico de histograma por clases diamétricas donde se compara el BSI original y, BSI proyectado en 20 años y su Distribución Balanceada según el objetivo y manejo planteado.

Utilizando la base de datos dinámica se proyectó la evolución del bosque, considerando la abundancia de especies, el AB y el volumen aprovechable; en distintas situaciones de manejo:

A.- de BSI con un tratamiento de *liberación* de los individuos a través de un tratamiento de raleo de todos los individuos oprimidos en todas las clases diamétricas.

B.- de BSI *con un tratamiento* según DMC de todos los individuos de valor forestal pertenecientes clases diamétricas de 30 a 69,9 cm.

C.- de BSI con un tratamiento según sistema "Árbol de futura cosecha" de los todos individuos valor forestal pertenecientes clases diamétricas desde 40 a 59,9 cm.

En cada instancia de manejo se calcularon las tasas del crecimiento anual (Items 3.5.1), del AB ($m^2/ha/año$) y del volumen ($m^3/ha/año$).

4. Resultados

4.1. Crecimiento

4.1.1. Estimación del crecimiento diamétrico

Las especies presentan IPMA (mm/año) diferentes de acuerdo al tipo de bosque (BI, BSI). Se observa que el incremento de mayor frecuencia en BI es 0,37 mm y en BSI es 0,28 mm lo que demuestra que en BI las especies poseen mayores incrementos diamétricos (Tabla 9).

Tabla 9.- Clase de frecuencias de los IPMA's (mm/año) de las especies. A) Bosque Intervenido. B) Bosque sin Intervención.

A)	CF	MC	FA	FR	B)	CF	MC	FA	FR
	0,00-0,74	0,37	190	64,0		0,00-0,56	0,28	62	63
	0,74-1,49	1,12	78	26,0		0,56-1,11	0,84	29	30
	1,49-2,23	1,86	19	6,0		1,11-1,67	1,39	3	3
	2,23-2,97	2,60	7	2,0		1,67-2,23	1,95	3	3
	2,97-3,72	3,35	2	1,0		2,23-2,78	2,51	0	0
	3,72-4,46	4,09	1	0,3		2,78-3,34	3,06	1	1

CF: clase de frecuencia. MC: marca de clase. FA: frecuencia absoluta. FR: frecuencia relativa.

Los crecimientos variaron considerablemente, como se observa en los diagramas de dispersión de la Figura 9, por lo que no fue posible ajustar una ecuación que relacione el diámetro y el crecimiento de todos los individuos correspondiente a cada tipo de bosque.

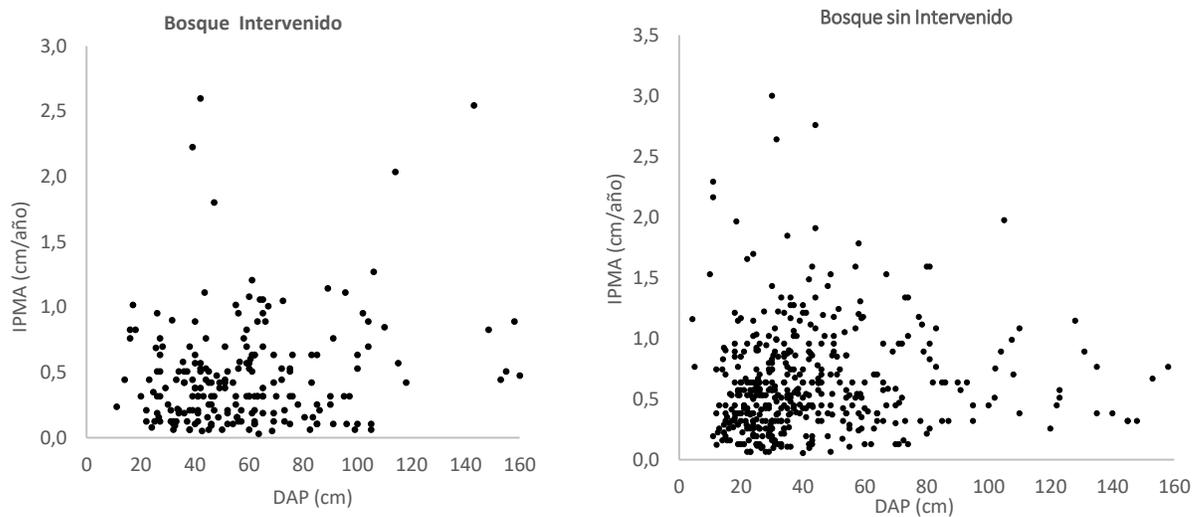


Figura 9.- Diagrama de dispersión de los pares de valores (IPMA, DAP) de los árboles individuales, según el tipo de Bosque.

El paso siguiente fue agruparlos por categoría diamétrica y calcular un crecimiento promedio. Luego se aplicó un análisis de regresión para tener una estimación de los mismos.

El diagrama de dispersión de los valores de los CPA en diámetro de los individuos en función de las clases diamétricas, según el tipo de bosque (BI, BSI) se presentan en la Figura 10. Además se muestra la línea de tendencia que ajusta a la dispersión de datos, según cada situación estructural.

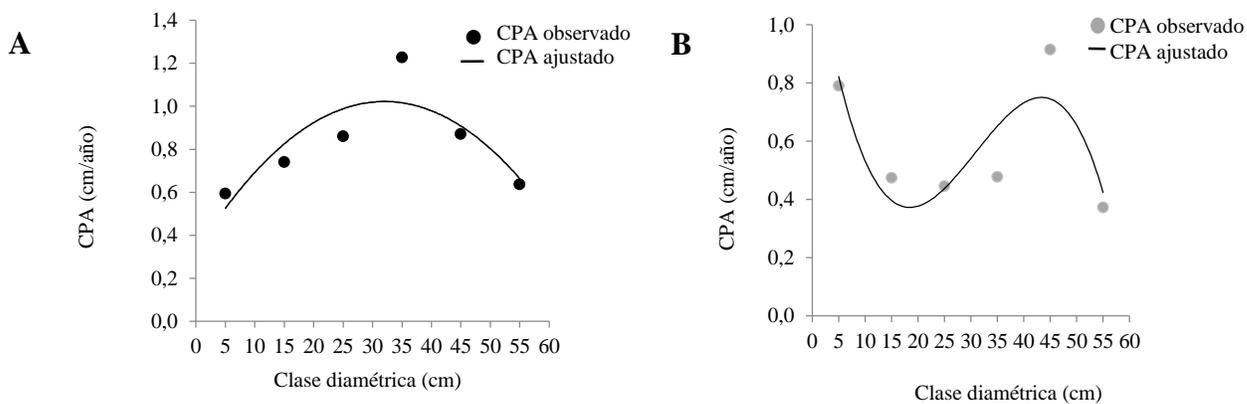


Figura 10. Crecimientos periódicos medios anuales (CPA) (cm/año) por clase diamétrica, según tipo de bosque. **A:** BI. **B:** BSI.

Con el objetivo de modelar el crecimiento diamétrico de las especies, se ajustó un modelo de ecuación no lineal, para cada situación estructural. El modelo polinómico resulta ser el más adecuado para el conjunto de datos.

Bosque	Modelo no lineal
Intervenido	$Y = -0,0007x^2 + 0,0436x + 0,3246$
Sin Intervención	$y = -0,00005x^3 + 0,0045x^2 - 0,1175x + 1,3024$

y: Incremento medio anual (mm/año). x: diámetro altura al pecho (DAP)

A continuación se presentan las medidas estadísticas utilizadas para evaluar la “bondad del ajuste” de los modelos polinómicos,

Bosque	R ²	R ² aj.	SEE	SCE	CME	F calc
Intervenido	0,81	0,80	0,096	0,055	0,003	65,11
Sin Intervención	0,71	0,68	0,101	0,088	0,008	112,04

R²: coeficiente de correlación. SEE: sumatoria del error experimental, SCE: sumatoria de cuadrados del error. CME: cuadrado medio del error experimental y F: estadístico calculado

El modelo polinómica resulta ser el más adecuado para el conjunto da datos. Una vez definida la ecuación, se la utilizó para estimar el crecimiento promedio por árbol en cada una de las clases de diámetro, y se estimó los “tiempos de paso” para los árboles para cada situación estructural (Tabla 10).

Tabla 10. Cálculo de los “tiempos de paso” para los árboles de BI y BSI.

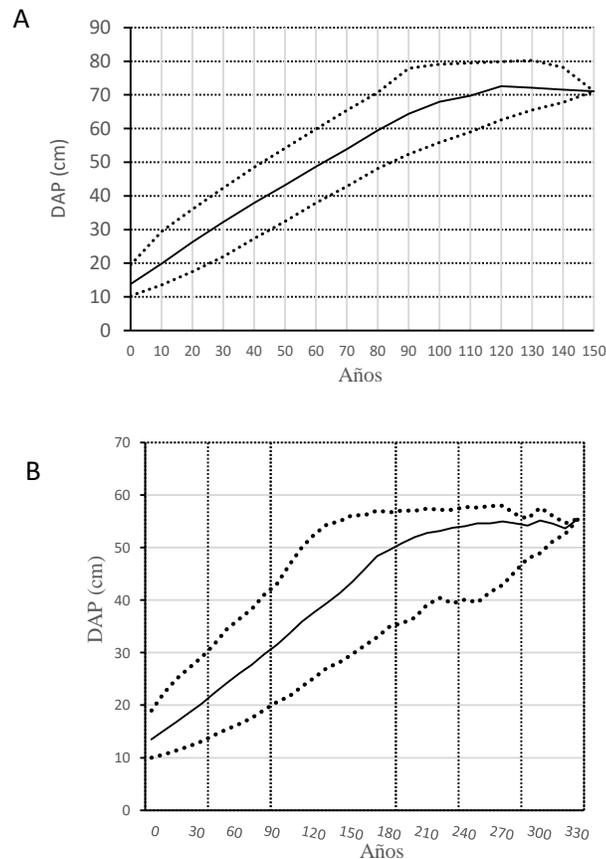
Clase diamétrica (cm)	Amplitud de clase (cm)	BI				BSI			
		IPMA calculado (cm)	IPMA ajustado	Tiempo paso (años)	Edad acumulada (años)	IPMA calculado (cm)	IPMA ajustado	Tiempo paso (años)	Edad acumulada (años)
5	10	0,59	0,53	12,48	14,48	0,79	0,82	18,96	18,96
15	10	0,74	0,82	12,18	26,66	0,47	0,38	26,07	45,03
25	10	0,70	0,71	14,23	36,89	0,45	0,40	25,24	70,27
35	10	1,23	0,99	10,07	46,96	0,48	0,56	17,90	88,17
45	10	0,87	0,87	11,51	58,47	0,92	0,57	17,51	105,68
55	10	0,64	0,61	16,53	75,00	0,37	0,13	74,82	180,50

De la tabla 9 se deduce el ciclo de corta para BI es de 14 años y para BSI de 26 años.

4.1.2. Modelado del crecimiento

Las curvas de crecimiento se construyeron a partir de los datos de las mediciones de 2009 y 2015. Las diferencias de estas mediciones son los incrementos diamétricos a partir de las cuales se simuló el crecimiento para obtener las curvas de crecimiento de las 3 especies de mayor valor forestal.

Las salidas gráficas de la simulación tienen formato bidimensional. En el eje de las ordenadas está el DAP y en el eje de abscisas, el tiempo expresado en años. Además se grafican las curvas al 2.5 y 97.5 correspondiente al límite inferior y superior de un intervalo de confianza al 95%. La graduación del eje de abscisas se realizó, en el gráfico correspondiente para cada especie, de forma que pueda hacerse una lectura correcta del tiempo que tarda cada especie en llegar al DMC, establecido por la Resol. 81 / 2 0 0 9 SGA-Provincia de Jujuy. (Figura 11).



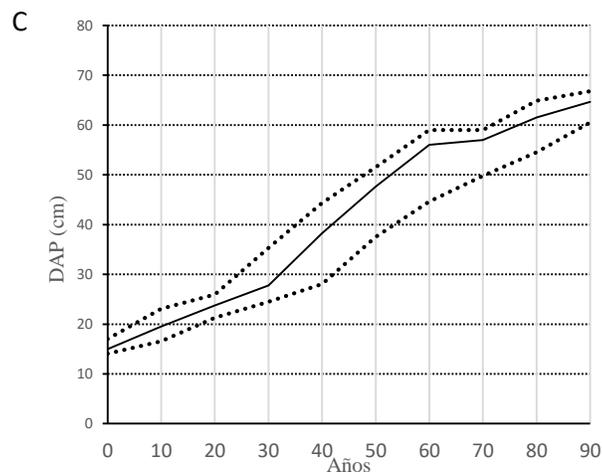


Figura 11. Curvas de crecimiento DAP (cm) vs Años; de las especies de mayor valor forestal. A.- *A. colubrina* (Cebil colorado); B.- *S. lorentzii* (Quebracho colorado); C.- *P. excelsa* (Horco cebil). En cada gráfico se indican el límite superior e inferior de un intervalo de confianza del 95%.

Las curvas de crecimiento (Figura 10) obtenidas por simulaciones de Monte Carlo (>500) representan la trayectoria del crecimiento de las especies obtenida a partir de los incrementos diamétricos obtenidos, en el período de 5 años, en cada individuos remedido

A partir de las curvas simuladas se puede estimar el tiempo lograr su DMC de las especies mencionadas (Tabla 11).

Tabla 11. Tiempo estimado (años) en lograr el Diámetro Mínimo de Corta (DMC). L_i : límite inferior intervalo de confianza 95%. L_s : límite superior intervalos de confianza 95%.

Especie	DMC (cm)	Tiempo estimado en lograr DMC (años)	L_i (años)	L_s (años)
<i>A. colubrina var cebil</i>	30	27	12	42
<i>P. excelsa</i>	30	35	30	40
<i>S. lorentzii</i>	30	80	40	150

4.1.3. Diferencias de crecimiento

La distribución de los datos de crecimiento tanto en BI como en BSI no poseen una distribución normal. Los valores del test de Shapiro Wilks ($p < 0,0001$) son de 0,91 para BI y 0,87 para BSI. En la Figura 12 se observan los gráficos de Q-Q plots correspondientes.

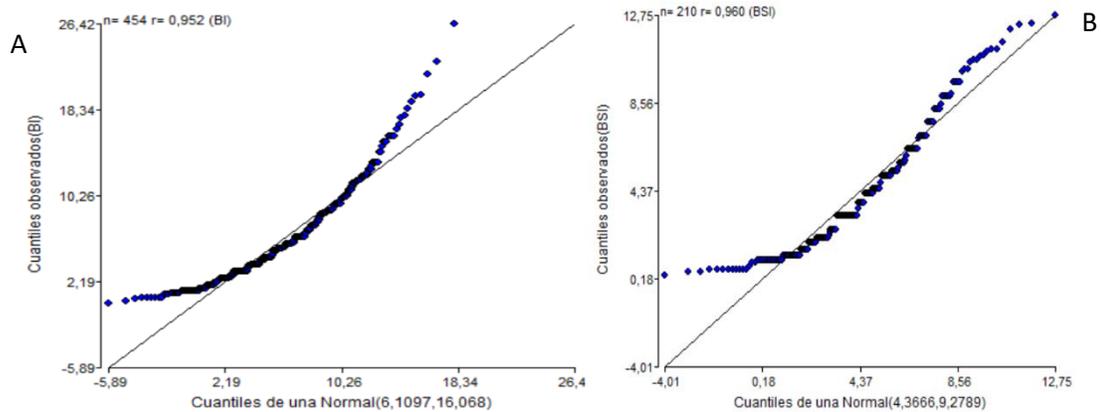


Figura 12. Gráfico de Q-Q plots de la distribución normal de datos. A: BI y B: BSI

Con los IPMA's de cada individuo de valor forestal se estimaron las diferencias del crecimiento acumulados entre BI y BSI, según las clases diamétricas y la posición sociológica.

Existen diferencias significativas entre los incrementos diamétricos según tipo de bosque. Los individuos del BI poseen mayor crecimiento diamétrico, creciendo en promedio 0,68 y 0,52 mm/año, en BI y BSI respectivamente (Tabla 12).

Tabla 12. Comparación de los IPMA's (cm/año) entre los tipos de bosques.

Bosque	N	Medias
Intervenido	297	0,68±0,64 a
Sin intervención	387	0,52±0,51 b
H	4,9	
p	0,0264	

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año) H: estadístico calculado, p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas.

Al considerar las clases de tamaños se puede observar diferencias en el crecimiento entre los individuos de las clases inferiores y las clases intermedias a superiores en BI en tanto en BSI no se observan diferencias. Al comparar ambos sistemas (BI vs BSI) los incrementos diamétricos según la clase de tamaño, solo existe diferencias en la clase de $\geq 10 < 19,9$ cm, donde los individuos de BI poseen un mayor crecimiento (Tabla 13).

Tabla 13.- Comparación de los IPMA's (cm/año) en cada tipo de bosque según las clases diamétricas

Clases diamétricas (cm)	Bosque Intervenido		Bosque sin intervención		*	p
	Individuos	Medias	Individuos	Medias		
≥1 <9,9	129	0,59±0,61a	135	0,79±0,65a	.	
≥10 <19,9	110	0,74±0,57a	144	0,47±0,53a	*	
≥20 <29,9	37	0,86±0,59b	69	0,45±0,37a	-	<0,0001
≥30 <39,9	11	1,23±1,38b	24	0,48±0,56a	-	
≥40 <40,9	9	0,87±0,32b	9	0,92±0,05a	-	
≥50 <59,9	1	0,64±0,00b	6	0,37±0,22a	-	
Total	297	0,68±0,64	387	0,52±0,51	*	

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año). (*) indica diferencias estadísticamente significativas p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas.

Al considerar la posición vertical de los individuos, tanto en BI como en BSI, los del piso superior presentan mayores incrementos que los de pisos intermedios e inferiores. El Piso medio presenta diferencias entre los tipos de bosque, correspondiendo a BI un mayor incremento (Tabla 14).

Tabla 14. Comparación de los IPMA's (cm/año) de cada tipo de bosque según la posición vertical.

Piso	Bosque Intervenido		Bosque sin Intervención		*	P
	Individuos	Medias	Individuos	Medias		
superior	199	0,78±0,71a	175	0,60±0,59a	-	<0,0001
medio	28	0,49±0,47b	118	0,16±0,16b	*	
inferior	70	0,60±0,61c	94	0,42±0,37b	-	
Total	297	0,68±0,64	387	0,52±0,51	*	

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año) H: estadístico calculado, p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas.

Las diferencias entre crecimientos según la tolerancia de las especies se presentan en la Tabla 15. Las especies heliófilas poseen un mayor crecimiento que las umbrófilas.

Tabla 15. Comparación de IPMA's (cm/año) entre las especies según su tolerancia.

Tolerancia	N	Medias
Heliófilas	410	0,62±0,63 A
Umbrófilas	273	0,45±0,58 B
H	13,55	
p	0,0002	

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año) H: estadístico calculado, p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas.

Al considerar la influencia de la intervención sobre el crecimiento, según tolerancia, las umbrófilas muestran un mayor crecimiento. En el caso de BI crecen 0,6 cm/año, mientras que en BSI crecen 0,25 cm/año (Tabla 16).

Tabla 16. Comparación de los IPMA's (cm/año) entre los tipos de bosque según la tolerancia de las especies.

Tolerancia	Bosque Intervenido		Bosque sin Intervención		*	P
	Individuos	Medias	Individuos	Medias		
Heliófilas	140	0,76±0,66a	270	0,63±0,55 ^a	-	<0,0001
Umbrófilas	157	0,60 ±0,61b	116	0,25±0,24b	*	

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año). (*) indica diferencias estadísticamente significativas p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas

Las diferencias de crecimiento entre las especies en cada situación estructural muestran que en BI las especies de mayores incrementos diamétricos son *T. tipu* y *A. colubrina* (Tabla 17).

Tabla 17. Comparación de los IPMA's (cm/año) de las especies de valor forestal en BI.

Especie	N	Medias
<i>T. tipu</i>	8	1,35±0,64 a
<i>A. colubrina</i>	66	0,89±0,41 a
<i>P. rhamnoides</i>	10	0,71±0,32 ab
<i>S. lorentzii</i>	47	0,74±0,40 ab
<i>P. excelsa</i>	76	0,73±0,40 ab
<i>C. multiflorum</i>	10	0,58±0,17 bc
<i>C. paraguariensis</i>	122	0,41±0,25 c
<i>P. nigra</i>	20	0,17±0,07 c
H 104,11		
P < 0,0001		

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año) H: estadístico calculado, p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas

En BSI también hubo diferencias significativas entre los IPMA's de las especies de valor forestal (Tabla 18). Un grupo de especies heliófilas (*T. tipu*, *A. colubrina* y *P. excelsa*) se diferencia en sus incrementos diamétricos con el resto de especies.

Tabla 18. Comparación de los IPMA's (cm/año) de las especies de valor forestal en BSI.

Especie	N	IPMA
<i>T. tipu</i>	8	0,94±0,34 a
<i>A. colubrina</i>	40	0,64±0,30 a
<i>P. excelsa</i>	26	0,60±0,25 a
<i>S. lorentzii</i>	15	0,42±0,18 ab
<i>C. multiflorum</i>	19	0,30±0,12 bc
<i>P. nigra</i>	15	0,40±0,17 bc
<i>C. paraguariensis</i>	20	0,22±0,05 c
H 45,17		
P <0,0001		

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año) H: estadístico calculado, p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas

Al comparar los IMAP's de la misma especie en ambas situaciones estructurales se observan diferencias en *A. colubrina*, *C. paraguariensis* y *S. lorentzii* (Tabla 19).

Tabla 19. Comparación de los IPMA's (cm/año) entre especie según el tipo de Bosque.

Especie	Bosque		*
	Intervenido	Sin Intervención	
<i>A. colubrina</i>	0,89±0,41	0,64±0,30	*
<i>C. paraguariensis</i>	0,41±0,25	0,22±0,5	*
<i>C. multiflorum</i>	0,58±0,17	0,30±0,12	-
<i>P. excelsa</i>	0,73±0,40	0,60±0,25	-
<i>P. nigra</i>	0,17±0,07	0,40±0,17	-
<i>S. lorentzii</i>	0,74±0,40	0,42±0,18	*
<i>T. tipu</i>	1,35±0,64	0,94±0,34	-
H 36,7			
P <00001			

Prueba no paramétrica de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Medias: valor de media aritmética \pm la desviación estándar de los IPMA's (mm/año) H: estadístico calculado, p: grado de significación estadística ($p < 0,05$), letras distintas indica diferencias estadísticamente significativas

Las tasas de crecimiento anual obtenidas son para BI del 3,8 % y para BSI del 1,5 %.

4.1.4. Diversidad entre Sectores (BI-BSI)

Para determinar el grado de similitud entre sitios se aplicaron los índices de similitud de Sorensen y de Jaccard (Tabla 20).

Tabla 20. Índices de Similitud/Disimilitud entre BI-BSI.

Índice	
Sorensen (I_s)	Jaccard (I_j)
77,5	0,63

Según el índice de Sorensen, los sitios presentan una similitud de 77 %. En tanto el índice de Jaccard presenta un valor más próximo a 1 evidenciando una alta similitud de la composición de especies entre los sectores,

4.2. Regeneración natural

En el estudio de la regeneración natural se analizó únicamente la correspondiente a las especies arbóreas de valor forestal o maderable.

4.2.1. Abundancia

La densidad de la regeneración de BI se detalla en el Tabla 21 en donde se observa que *C. paraguariensis* es la especie más representada.

Tabla 21. Número de individuos de la regeneración natural de las especies arbóreas en BI.

Especies	Abundancia	
	Absoluta (ind./ha)	Relativa
<i>C. paraguariensis</i>	43	49
<i>P. excelsa</i>	9	11
<i>A. colubrina</i>	8	9
<i>S. lorentzii</i>	8	9
<i>R. laxiflora</i>	3	4
<i>Z. mistol</i>	2	2
<i>P. rhamnoides</i>	2	2
<i>C multiflorum</i>	1	2
<i>Xilosma pubescens</i>	1	1
<i>A. praecox</i>	1	1
<i>P. nigra</i>	1	1
<i>G. decorticans</i>	1	1
<i>Erythroxylum argentinum</i>	1	1
<i>A. quebracho blanco</i>	1	1
<i>Bougainvillea stipitata</i>	1	1
<i>Allophylus edulis</i>	1	1
<i>Solanum verbascifolium</i>	1	1
<i>Terminalia triflora</i>	1	1
<i>Fagara naranjillo</i>	1	1
<i>Achatocarpus praecox</i>	1	1
<i>Pterogyne nitens</i>	1	1
TOTAL	89	100

En tanto en BC la abundancia de especies es menor siendo la especie más representada *A. quebracho blanco* (Tabla 22).

Tabla 22. Número de individuos de la regeneración natural de las especies arbóreas en BC.

Especies	Abundancia	
	Absoluta (ind./ha)	Relativa
<i>A. quebracho blanco</i>	12	32
<i>C. paraguariensis</i>	9	24
<i>S. lorentzii</i>	6	16
<i>A. colubrina</i>	3	8
<i>P. excelsa</i>	2	5
Total	32	100

4.2.2. Frecuencia

En BI las especies más frecuentes son heliófilas *C. paraguariensis*, *P. excelsa*, *A. colubrina* y *S. lorentzii* (Tabla 23).

Tabla 23. Frecuencia Absoluta y Relativa de la regeneración en el BI.

Especies	Frecuencia	
	Absoluta (ind./ha)	Relativa
<i>C. paraguariensis</i>	10	14
<i>P. excelsa</i>	9	13
<i>A. colubrina</i>	9	13
<i>S. lorentzii</i>	7	10
<i>R. laxiflora</i>	6	8
<i>Z. mistol</i>	5	7
<i>P. rhamnoides</i>	4	6
<i>C. multiflorum</i>	3	4
<i>X. pubescens</i>	3	4
<i>A. praecox</i>	2	3
<i>P. nigra</i>	2	3
<i>G. decorticans</i>	2	3
<i>E. argentinum</i>	2	3
<i>A. quebracho blanco</i>	1	1
<i>B. stipitata</i>	1	1
<i>A. edulis</i>	1	1
<i>S. verbascifolium</i>	1	1
<i>T. triflora</i>	1	1
<i>F. naranjillo</i>	1	1
<i>A. praecox</i>	1	1
<i>P. nitens</i>	1	1

En tanto en BC la especie más frecuente es una especie heliófila *A. quebracho blanco* (Tabla 24).

Tabla 24. Frecuencia Absoluta y Relativa de la regeneración en el BC.

Especies	Frecuencia	
	Absoluta (ind./ha)	Relativa
<i>A. quebracho blanco</i>	10	25
<i>C. paraguariensis</i>	10	28
<i>S. lorentzii</i>	10	26
<i>A. colubrina</i>	3	9
<i>P. excelsa</i>	3	7

4.2.3. Clases de tamaño

Al considerar las especies de acuerdo a la clase de tamaño de la regeneración BI las especies con mayor número de individuos reclutados y de mejor distribución en las clases son *C. paraguariensis*, *P. excelsa*, *A. colubrina* y *S. lorentzii* (Tabla 25).

Tabla 25. Número de ind./ha por clases de tamaño de la regeneración natural en BI.

Especies	CI	CII	CIII	Total
<i>C. paraguariensis</i>	6	33	89	128
<i>P. excelsa</i>	0	5	23	28
<i>A. colubrina</i>	0	2	21	23
<i>S. lorentzii</i>	1	4	18	23
<i>R. laxiflora</i>	0	1	9	10
<i>Z. mistol</i>	0	1	5	6
<i>P. rhamnoides</i>	0	0	5	5
<i>C. multiflorum</i>	0	0	4	4
<i>X. pubescens</i>	0	0	3	3
<i>A. praecox</i>	0	0	3	3
<i>P. nigra</i>	0	0	2	2
<i>G. decorticans</i>	0	0	2	2
<i>E. argentinum</i>	0	0	2	2
<i>A. quebracho blanco</i>	0	0	2	2
<i>B. stipitata</i>	0	0	1	1
<i>A. edulis</i>	0	0	1	1
<i>S. verbascifolium</i>	0	0	1	1
<i>T. triflora</i>	0	0	1	1
<i>F. naranjillo</i>	0	0	1	1
<i>A. praecox</i>	0	0	1	1
<i>P. nitens</i>	0	1	0	1
Total	7	47	194	248

Para calcular las clases de tamaño relativas se le atribuyó un valor fitosociológico a cada clase de tamaño (Tabla 26).

Tabla 26. Valor fitosociológico para cada clase de tamaño en BI.

Clase de tamaño	Ind.	%	Valor simplificado
I	7	3	1
II	47	19	2
III	194	78	7

El valor asignado a cada clase de tamaño se utilizó para calcular el índice denominado Clase de Tamaño Absoluta (CTA) y Relativa (CTR) en BI (Tabla 27).

Tabla 27. Clases de tamaño para la regeneración natural en BI.

Especie	CI			CII			CIII			CTA	CTR %
	N	VS	V*N	N	VS	V*N	N	VS	V*N		
<i>C. paraguariensis</i>	6	1	6	89	7	623	33	2	66	695	47,64
<i>P. excelsa</i>	0	1	0	23	7	161	5	2	10	171	11,72
<i>A. colubrina</i>	0	1	0	21	7	147	2	2	4	151	10,35
<i>S. lorentzii</i>	1	1	1	18	7	126	4	2	8	135	9,25
<i>R. laxiflora</i>	0	1	0	9	7	63	1	2	2	65	4,46
<i>Z. mistol</i>	0	1	0	5	7	35	1	2	2	37	2,54
<i>P. rhamnoides</i>	0	1	0	5	7	35	0	2	0	35	2,40
<i>C. multiflorum</i>	0	1	0	4	7	28	0	2	0	28	1,92
<i>X. pubescens</i>	0	1	0	3	7	21	0	2	0	21	1,44
<i>A. praecox</i>	0	1	0	3	7	21	0	2	0	21	1,44
<i>P. nigra</i>	0	1	0	2	7	14	0	2	0	14	0,96
<i>G. decorticans</i>	0	1	0	2	7	14	0	2	0	14	0,96
<i>E. argentinum</i>	0	1	0	2	7	14	0	2	0	14	0,96
<i>A. quebracho blanco</i>	0	1	0	2	7	14	0	2	0	14	0,96
<i>B. stipitata</i>	0	1	0	1	7	7	0	2	0	7	0,48
<i>A. edulis</i>	0	1	0	1	7	7	0	2	0	7	0,48
<i>S. verbascifolium</i>	0	1	0	1	7	7	0	2	0	7	0,48
<i>T. triflora</i>	0	1	0	1	7	7	0	2	0	7	0,48
<i>F. naranjillo</i>	0	1	0	1	7	7	0	2	0	7	0,48
<i>A. praecox</i>	0	1	0	1	7	7	0	2	0	7	0,48
<i>P. nitens</i>	0	1	0	0	7	0	1	2	2	2	0,14

En BC la especie con la regeneración de mayor tamaño es *A. quebracho blanco* (Tabla 28).

Tabla 28. Número de ind./ha por clases de tamaño de la regeneración natural en BC.

Especies	CI	CII	CIII	Total
<i>A. quebracho blanco</i>	8	9	18	35
<i>C. paraguariensis</i>	2	7	15	24
<i>S. lorentzii</i>	2	4	5	11
<i>A. colubrina</i>	0	1	4	5
<i>P. excelsa</i>	2	2	0	4
Total	14	23	42	79

El valor fitosociológico de la regeneración se observa en Tabla 29.

Tabla 29. Valor fitosociológico para cada clase de tamaño en BC.

Clase de tamaño	Ind.	%	Valor simplificado
I	14	18	2
II	23	29	3
III	42	53	5

El valor asignado a cada clase de tamaño se utilizó para calcular el índice denominado Clase de Tamaño Absoluta y Relativa en BC (Tabla 30).

Tabla 30. Clases de tamaño para la regeneración natural en BC.

Especies	CI			CII			CIII			CTA	CTR%
	N	VF	VF*n	N	VF	VF*n	N	VF	VF*n		
<i>A. quebracho blanco</i>	8	2	16	9	3	27	18	5	90	133	43,32
<i>C. paraguariensis</i>	2	2	4	7	3	21	15	5	75	100	32,57
<i>S. lorentzii</i>	2	2	4	4	3	12	5	5	25	41	13,36
<i>A. colubrina</i>	0	2	0	1	3	3	4	5	20	23	7,49
<i>P. excelsa</i>	2	2	4	2	3	6	0	5	0	10	3,26

4.2.4. Índice Regeneración natural relativa

Este índice nos muestra que las especies con mayor abundancia y ocupación en BI es una especie heliófila como *C. paraguariensis* en tanto en BC es una especie umbrófila como *A. quebracho blanco* (Figura 13).

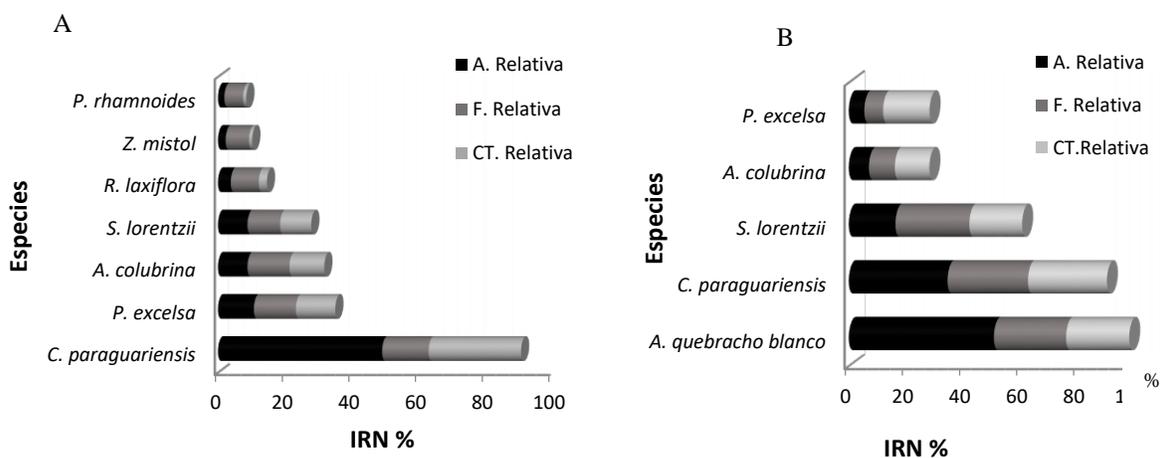


Figura 13. Índice de regeneración natural de las especies de valor forestal en cada tipo de bosque: A.- Bosque A.- BI y B.- BC.

De acuerdo a las clases de frecuencias en BI las especies se encuentran escasamente distribuidas en el sitio (Tabla 31).

Tabla 31. Clases de frecuencia de las especies en BI.

Especies	Clases de Frecuencias
<i>C. paraguariensis</i>	A
<i>P. excelsa</i>	A
<i>A. colubrina</i>	A
<i>S. lorentzii</i>	A
<i>P. rhamnoides</i>	A
<i>P. alba</i>	A
<i>A. quebracho blanco</i>	A

En BC hay tres especies que se encuentran mejor distribuidas en el sitio, ellas son *A. quebracho blanco*, *C. paraguariensis* y *S. lorentzii* (Tabla 32).

Tabla 32. Clases de frecuencia de las especies en BC.

Especie	Clase frecuencia
<i>A. quebracho blanco</i>	B
<i>C. paraguariensis</i>	B
<i>S. lorentzii</i>	B
<i>A. colubrina</i>	A
<i>P. excelsa</i>	A

Al correlacionar la abundancia de la regeneración con la cobertura (%) y el AB (m²/ha) según los tipos de bosque (BC, BCM y BSM), se observa que aumenta al reducirse: la cobertura del bosque (1) y AB de los individuos del bosque (2).

$$(1) \quad ABR = -1,53 * \text{cobertura (\%)} + 243,56 \quad R^2: 87 \%$$

$$(2) \quad ABR = -11,47 * AB + 306,1 \quad R^2: 91\%$$

Siendo ABR (abundancia regeneración) y AB (AB en m²/ha)

La abundancia de la regeneración es mayor en BI, mientras que en BSI es mayor que en BC (Tabla 33).

Tabla 33. Comparación de la abundancia de la regeneración según tipo de bosque: A.- BI, B.- BSI y C.- BC

Tipo de bosque	Abundancia
BI	13,0±4,3 a
BSI	10,4±1,4 ab
BC	5,1±5,1 b

Letras distintas significa que diferencias significativas ($p>0,05$)

Al considerar las clases de tamaños observamos que la CIII no presenta diferencias en su abundancia con respecto al tipo de bosque. En tanto las clases CI y CII son más abundantes en BC con respecto a BSI y BI, (Tabla 34).

Tabla 34. Comparación de la abundancia del tamaño de la regeneración según cada tipo de bosque: A.- BI, B.- BSI y C.- BC

Regeneración	Tipo de bosque	Abundancia
CI	BSI	1,20±0,10 a
	BI	2,33±0,11 a
	BC	4,86±0,33 b
CII	BSI	1,44±0,12 a
	BI	2,24±1,11 a
	BC	4,43±1,43 b
CIII	BSI	5,56±1,23 a
	BI	9,43±3,23 a
	BC	5,30±2,11 a

Con el test U de Mann Whitney se determinaron diferencias significativas entre la abundancia de la regeneración en cada tipo de bosque, siendo mayor en BSI (Tabla 35).

Tabla 35. Prueba de U para la abundancia entre tipos de bosque.

Tipo de bosque	Abundancia	W
BSI	8,12±3,21a	12,33
BI	4,11±1,22b	
P-valor	0,79	

W: valor del estadístico calculado.

A través de los resultados encontrados se observó que en BSI existe la mejor distribución de la regeneración en sus diferentes tamaños.

4.2.5. Patrón de distribución

4.2.5.1. Patrón de distribución de la regeneración en BI

Los resultados de las simulaciones de Monte Carlo (99) con los datos obtenidos del registro de la regeneración natural se han graficado en la Figura 14, donde se observa la preponderancia de un patrón de distribución del tipo gregario.

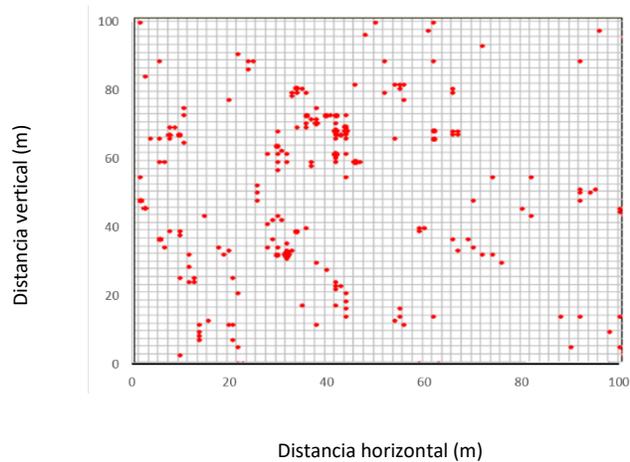


Figura 14. Patrón de distribución simulado de la regeneración natural en BI.

El análisis univariado, de la regeneración demuestra un agrupamiento significativo de la regeneración natural. Este agrupamiento es mayor a pequeña escala con distancias radiales que alcanzan un máximo de 5 m hasta los 11 m, a partir del cual el agrupamiento tiende a disminuir (Figura 15).

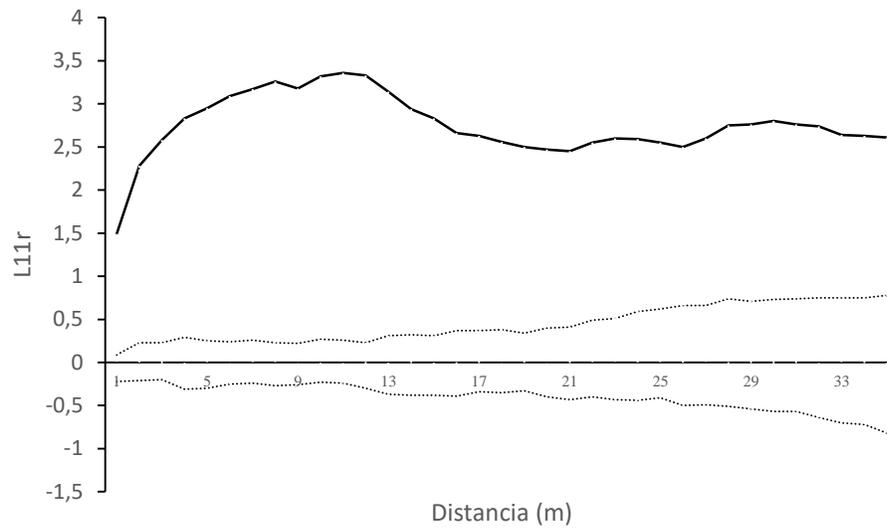


Figura 15. Patrones simulados mediante K de Ripley para BI. Funciones de distribución empíricas (líneas gruesas) juntos con los intervalos de confianza ($P < 0,05$). Hipótesis de aleatoriedad espacial (líneas discontinuas).

4.2.5.2. Patrón de distribución de la regeneración en BC

Los resultados de las simulaciones de Monte Carlo (99) de la regeneración natural en BC muestran un patrón de distribución aleatorio (Figura 16).

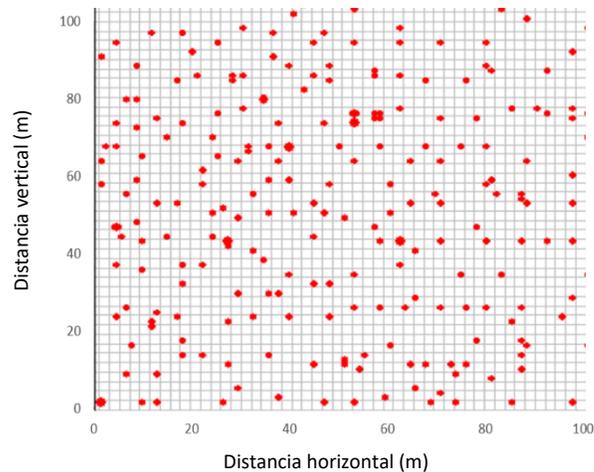


Figura 16. Patrón de distribución simulado de la regeneración natural en BC.

El patrón espacial del conjunto de individuos de BC se presenta aleatorio a la escala espacial considerada (Fig. 17).

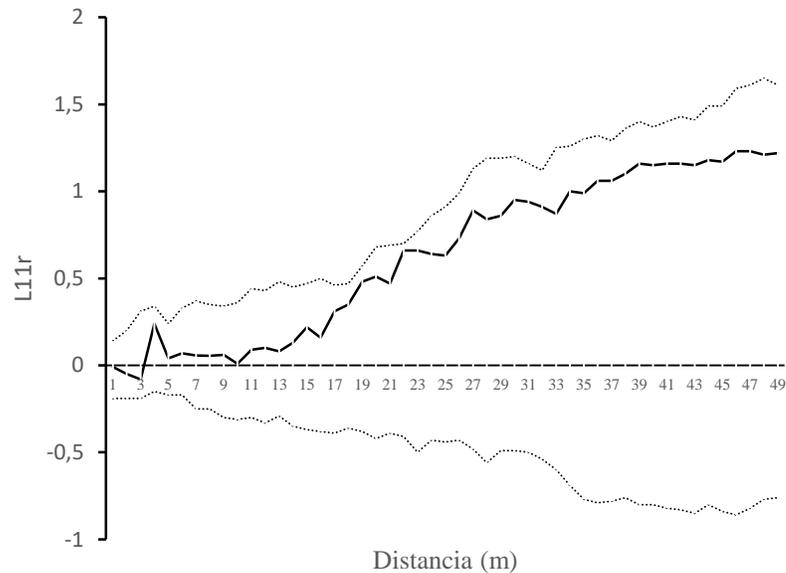


Figura 17. Patrones simulados mediante K de Ripley en BC.

Funciones de distribución empíricas (líneas gruesas) juntos con los intervalos de confianza ($P < 0,05$). Hipótesis de aleatoriedad espacial (líneas discontinuas).

Estos resultados sustentan la hipótesis de que aperturas en el dosel arbóreo producidas por intervenciones propician las condiciones de luminosidad para la agregación de la regeneración y su mayor abundancia con respecto a BC.

Las intervenciones en el dosel arbóreo influyen directamente sobre la estructura y los patrones de distribución de la regeneración.

4.2.6. Diversidad entre Sectores (BC-BI)

Para determinar el grado de similitud entre sitios se aplicaron los índices de similitud de Sorensen y de Jaccard (Tabla 36).

Tabla 36. Índices de Similitud/Disimilitud entre BC-BI.

Índice	
Sorensen (I_s)	Jaccard (I_j)
68,5	0,60

Según el índice de Sorensen, los sitios presentan una similitud de 68,5 %. En tanto el índice de Jaccard presenta un valor más próximo a 1 evidenciando una alta similitud de en la composición de especies entre los sectores,

4.3. Competencia

4.3.1. Índices independientes de la distancia

Índice factor de competencia de copa (FCC)

A partir de los pares de valores DAP y Diámetro de copa (Dc) de 15 individuos de *A. colubrina* y de *S. lorentzii* se obtuvieron los coeficientes de regresión lineal (Tabla 37).

Tabla 37. Coeficientes de regresión lineal de las especies de interés.

Especies	Coeficientes		
	β	β_0	R ²
<i>A. colubrina</i>	0,128	-1,073	0,65
<i>S. lorentzii</i>	0,126	-0,893	0,59

Con los coeficientes se obtuvo el Área de copa (ac) en m², el espacio de crecimiento (Ec) en % y la cantidad de individuos por ha; para que los individuos de 25 cm de DAP de las especies de interés crezcan libres de competencia (Tabla 38). Se demuestra que la especie de mayor crecimiento (*A. colubrina*) necesita una menor área de copa (4,95 m²) y un menor espacio de crecimiento para crecer libre de competencia, y en correspondencia pueden soportar un mayor número de individuos en la ha (2019) antes de iniciar la competencia.

Tabla 38. Índices de competencia de las especies de interés forestal.

Índices	Especies	
	<i>A. colubrina</i>	<i>S. lorentzii</i>
ac (m ²)	4,95	6,07
Ec (%)	0,05	0,06
Ind./ha	2019	1646

4.3.2. Índices dependientes de la distancia

Se obtuvieron datos de 18 individuos de *A. colubrina* y *S. lorentzii*, para estimar la relación entre el crecimiento diametral con la distancia (Heygi, 1974) y con la vecindad (Daniels, 1976) de los individuos competidores.

Al correlacionar el tamaño de los individuos por cada especie con los índices de competencia, se observa que el mayor ajuste de la dispersión de los datos corresponde al índice de Daniels (Tabla 39) (Figura 18).

Tabla 39. Correlación entre el tamaño (DAP) de las especies y los índices de competencia.

Especie	Índice	R ²
<i>A. colubrina</i>	Heygi	0,12
	Daniels	0,80
<i>S. lorentzii</i>	Heygi	0,02
	Daniels	0,82

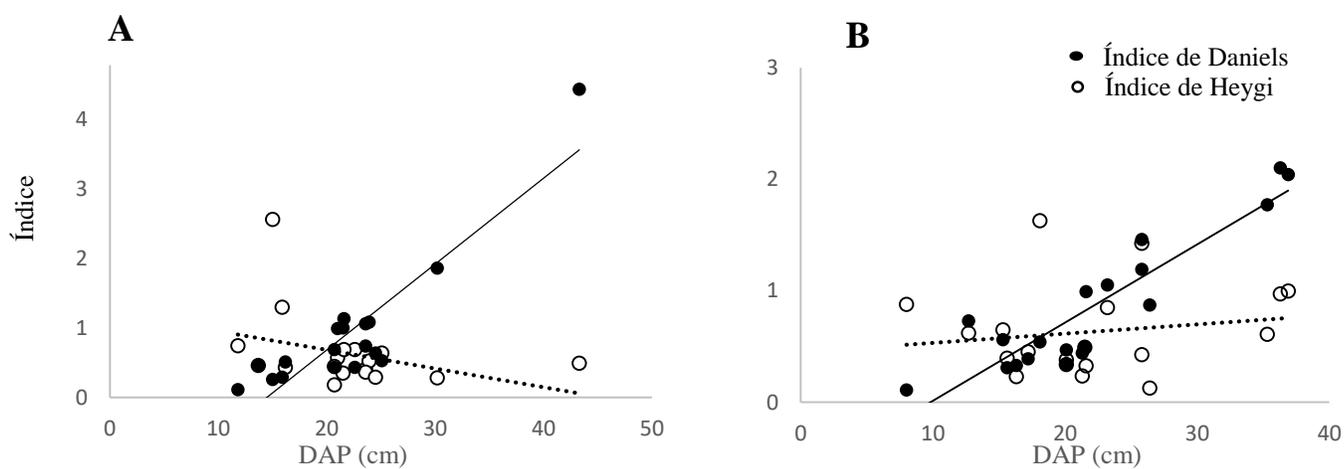


Figura 18. Correlación tamaño de los individuos y Índices (Daniels-Heygi): A.- *A. colubrina* y B.- *S. lorentzii*.

A medida que los individuos adquieren mayor capacidad de captar luz en sus copas, la competencia de los individuos vecinos y próximos tienen menos efecto sobre el crecimiento diamétrico (Tabla 40).

Tabla 40. Relación entre la posición vertical de los individuos con los índices y el crecimiento diamétrico de los individuos.

Posición vertical	Daniels	Hegy	IPMA´s
Superior	1,24	0,42	1,15
Intermedio	0,59	0,93	0,82
Inferior	0,11	0,74	0,70

Con los pares de valores IMA (mm/año) - Índice de Hegyi y IMA (mm/año)-Índice de Daniels se ajustaron los modelos (Figura 19 y Figura 20) para cada una de las especies de interés.

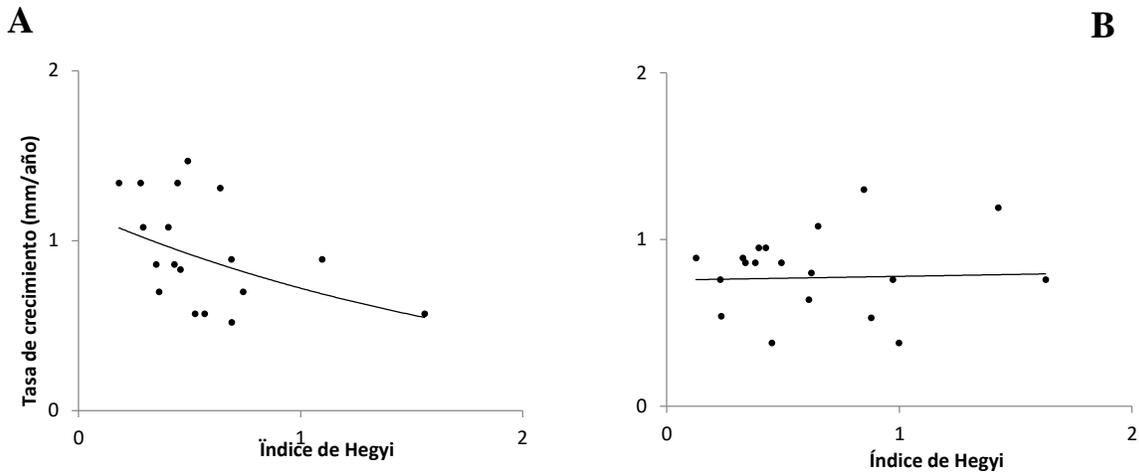


Figura 19. Diagrama de dispersión de los pares de valores (IPMA, Índice de Hegyi) de las especies de valor forestal: A. *A. colubrina* y B. *S. lorentzii*.

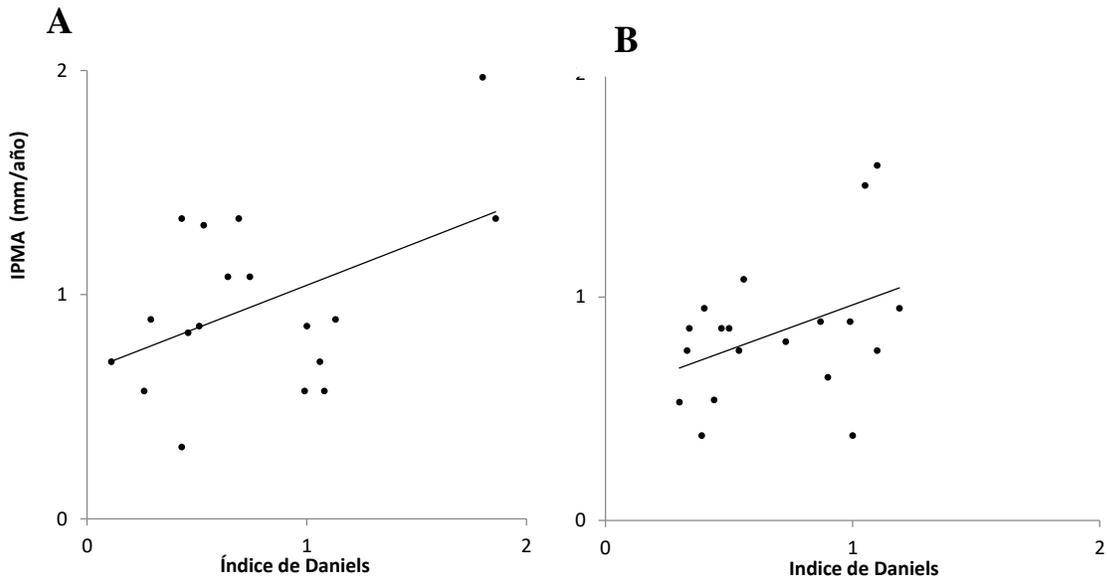


Figura 20. Diagrama de dispersión de los pares de valores (IPMA, Índice de Daniels) de las especies de valor forestal: A. *A. colubrina* y B. *S. lorentzii*.

El Índice de Daniels posee una mayor correlación entre el IPMA y la competencia de los individuos vecinos sobre el individuo control (Tabla 41).

Tabla 41. Coeficiente de correlación (R^2) del ajuste de regresión de los pares de valores IPMA-Índice de competencia (Hegyí y Daniels).

Índice	Especie	Regresión	R^2	
Hegyí	<i>A. colubrina</i>	Lineal	$y = -0,4336 x + 1,1816$	0,203
		Logarítmica	$y = -0,316 \ln(x) + 0,7226$	0,203
		Exponencial	$y = 1,175 e^{-0,49 x}$	0,218
	<i>S. lorentzii</i>	Lineal	$y = -0,0208 x + 0,9602$	0,034
		Logarítmica	$y = -0,027 \ln(x) + 0,8937$	0,007
		Exponencial	$y = 0,9384 e^{-0,034 x}$	0,077
Daniels	<i>A. colubrina</i>	Lineal	$y = 0,3816 x + 0,6597$	0,235
		Logarítmica	$y = 0,2197 \ln(x) + 1,0571$	0,155
		Exponencial	$y = 0,671 e^{0,3498 x}$	0,159
	<i>S. lorentzii</i>	Lineal	$y = 0,4021 x + 0,5617$	0,165
		Logarítmica	$y = 0,2596 \ln(x) + 0,9622$	0,155
		Exponencial	$y = 0,5936 e^{0,4083 x}$	0,115

A partir de los Índices de competencia y variables de ocupación del bosque se ajustaron ecuaciones lineales para estimar el IPMA de las especies de valor forestal. Se eliminaron las variables predictoras que tienen multicolinealidad con la variable respuesta (Tasa de crecimiento) (Tabla 42).

Tabla 42. Valores de VIF de las variables predictoras del modelo lineal por especie de valor forestal.

Especie	Variable	R ²	VIF
<i>A. colubrina</i>	DAP	0,94	2,36
	H	0,47	1,94
	D	0,92	12,90
	D'	0,54	2,20
	V	0,69	3,26
	C	0,68	3,13
	PV	0,67	3,09
	AB v	0,80	5,11
<i>S. lorentzii</i>	DAP	0,49	1,98
	H	0,48	1,94
	D	0,97	40,70
	D'	0,68	3,38
	V	0,70	10,34
	C	0,70	4,52
	PV	0,74	1,91
	AB v	0,44	3,18

Variables predictoras: DAP (DAP del árbol control), H (valor índice de Heygi), D (valor índice de Daniels), D' (distancia promedio de los árboles competidores), V (cantidad de árboles competidores), C (cobertura del árbol control), PV (posición vertical árbol control) y ABv (AB de los árboles competidores)

El cálculo del VIF estima que existe multicolinealidad entre la tasa de crecimiento (cm/año) y el índice de Daniels (D).

Los modelos lineales obtenidos para cada especie son los siguientes:

A. colubrina

$$TC = 0,411 + 0,015 \times (Dap) + 1,58x(ABv) + 0,071x(D) + 0,111x(V) + 0,13x(C) + 0,001x(PS) + 0,016X(H)$$

R²: 0,48

S. lorentzii

$$TC = 0,101 + 0,005 \times (Dap) + 2,368x(ABv) + 0,211x(V) + 0,078x(D) + 0,021x(C) + 0,040x(PS) + 0,008X(H)$$

R²: 0,35

A partir del análisis Stepwise se estimó el mejor modelo que ajusta el crecimiento por cada especie en función de las variables predictoras descriptas.

Especie	Variable	Cp Mallows	VIF	R ²
<i>A. colubrina</i>	DAP	5,02	1,91	
	D´	8,01	1,81	
	C	6,83	1,12	
Modelo	TC=-0,23+0,02xDAP+0,08xD´+0,11xC			0,64
<i>S. lorentzii</i>	ABv	4,31	2,14	
	D´	4,78	1,54	
	V	3,15	2,34	
Modelo	TC= 0,04+-0,14xABv+0,08xD´+0,21xV			0,48

VARIABLES predictoras: DAP (DAP del árbol control), H (valor índice de Heygi), D (valor índice de Daniels), D´(distancia promedio de los árboles competidores), V (cantidad de árboles competidores), C (cobertura del árbol control), PV (posición vertical del árbol control) y ABv (AB de los árboles competidores).

Con este modelo ajustado se puede proyectar el crecimiento individual y conjunto de la masa forestal en respuesta a modificaciones estructurales que cambian las condiciones de competencia.

4.4. Proyección del crecimiento y producción

El tiempo es un factor decisivo en la dinámica de los bosques en condiciones de semiaridez. Al proyectar 20 años la distribución diamétrica del bosque (BSI) se observa una acumulación de individuos en las clases intermedias y un escaso tránsito de individuos hacia las superiores. Los cambios en la distribución diamétrica se deben principalmente al crecimiento diamétrico de los individuos, que provoca el paso de los mismos desde las clases inferiores hacia las intermedias. Las curvas de distribución diamétricas para los años

establecidos (2015-2025-2035) se pueden observar en la Figura 21. La tasa promedio anual de tránsito entre clases es de 4,5 %

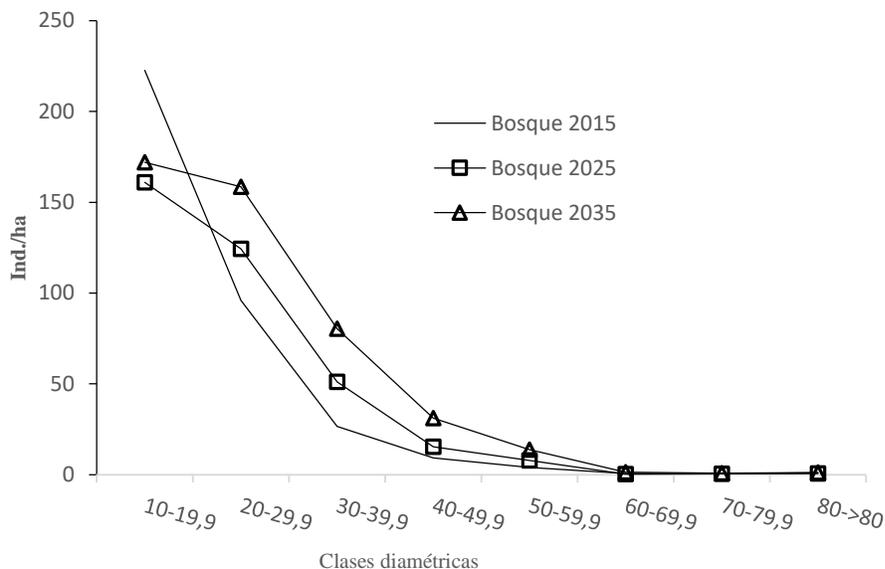


Figura 21. Distribuciones diamétricas en los diferentes años del periodo 2015-2035.

El crecimiento acumulado en el período determinado también se refleja en la evolución del AB (m^2/ha) expresada por la diferencia entre años y su acumulación entre ellos. El aumento proyectado en 20 años es de aproximadamente $12 m^2/ha$, lo que corresponde a $0,9 m^2/ha/año$ y a una tasa del 3,5 % anual. Se crean clases de acumulación de individuos con un aumento del AB en las clases intermedias (Figura 22).

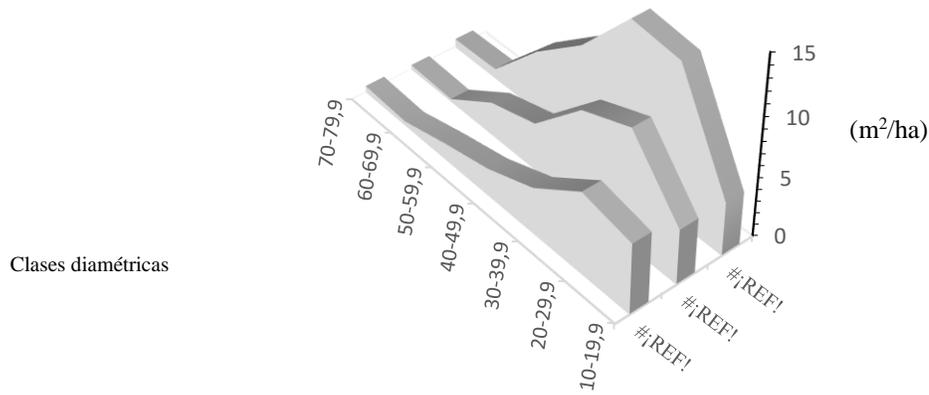


Figura 22. Evolución del AB (m^2/ha) en el período determinado.

La producción del bosque se estimó con la evolución del volumen en las distintas clases diamétricas. Se manifiesta un aumento de 12,8 y 28,7 m^3/ha en el volumen total correspondiente a 2025 y 2035 respectivamente (Tabla 43).

Tabla 43. Evolución del volumen de BSI en el período determinado.

Clases diamétricas	Años		
	2015	2025	2035
$\geq 10 < 20$	41,82	41,4	29,9
$\geq 20 < 30$	40,65	45,4	57,3
$\geq 30 < 40$	10,98	14,4	21,2
$\geq 40 < 50$	6,25	8,2	13,9
$\geq 50 < 60$	4,03	4,5	7,5
$\geq 60 < 70$	1,51	0,8	3,1
$\geq 70 < 80$	1,01	0,6	1,1
Total	106,25	115,4	134,0
Diferencia Volumen		12,8	28,7
Tasa de crecimiento anual (%)			1,3

En la Figura 23 se observa que el volumen acumulado en el período es de 28,7 m^3/ha , con un incremento anual de 1,4 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$, que equivale a una tasa del 1,3 % anual.

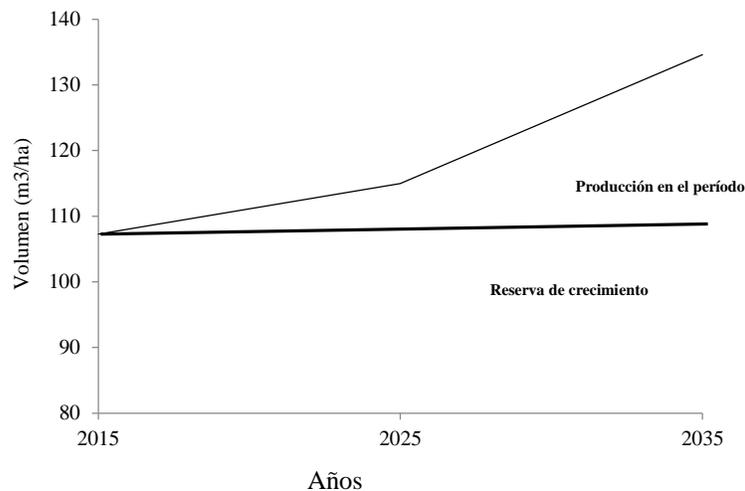


Figura 23. Volumen aprovechable (m^3/ha) acumulado en el período considerado.

La reserva de crecimiento es el volumen remanente con que se inicia un nuevo ciclo de producción. La reserva (stock) crece durante los años del ciclo, al final del cual se corta la parte comercial de ese crecimiento (Araujo, 2003).

4.4.1. Proyección con distintas situaciones de manejo

Para un mejor entendimiento, se describen los tipos de tratamientos: a. BSI con un tratamiento de liberación (raleo en 2015 de los individuos del piso inferior en todas las clases diamétricas), b.- BSI con un aprovechamiento según DMC (extracción en 2015 de todos los individuos de valor forestal que cumplan con el DMC) y C. BSI con aprovechamiento según sistema “Árbol de futura cosecha” (AFC) (extracción en 2015 de todos los individuos de valor forestal pertenecientes clases diamétricas desde 40 a 59,9 cm).

Existiendo un DMC para cada tipo de especie de valor forestal (Tabla 6).

4.4.1.1. Bosque con tratamiento de liberación

Con este tratamiento se extraen 30 ind./ha del piso inferior correspondiendo a 3 m^3/ha y 2 m^2/ha . La proyección de la distribución diamétrica luego del tratamiento de liberación se ha graficado en la Figura 24. Se observa una disminución constante de individuos en la primer clase diamétrica y un tránsito de las clases inferiores a las intermedias que son las de

cortabilidad. El tránsito es menor de las clases intermedias a las superiores. En los 20 años proyectados se logran recuperar los individuos extraídos en la liberación. La promoción del ingreso y tránsito de individuos incorporan 123 ind./ha con respecto a la condición inicial de BSI. La tasa de tránsito promedio entre clases es de 4,5 %.

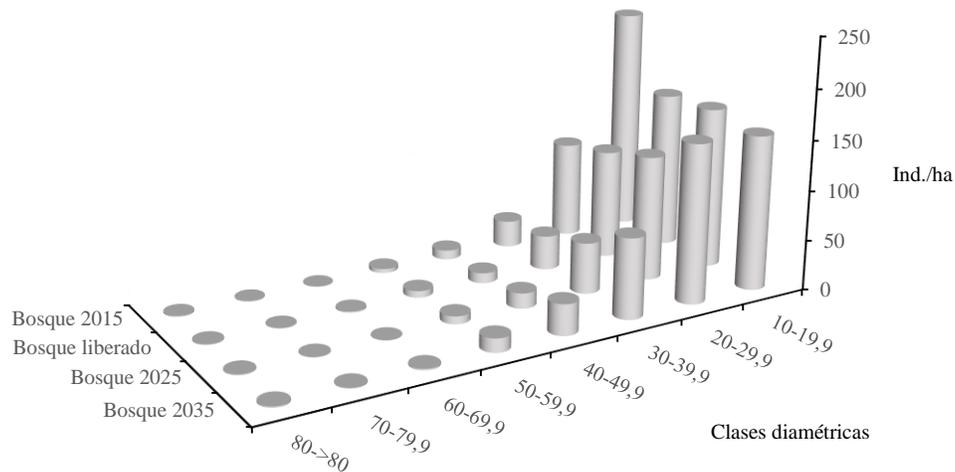


Figura 24. Proyección de las distribuciones diamétricas con tratamiento de liberación.

La evolución del AB con posterioridad al tratamiento de liberación muestra una acumulación en las clases intermedias y superiores, principalmente debido al pasaje de individuos provenientes de las clases inferiores. Durante el período se acumulan 15 m²/ha a partir de la 2ª clase diamétrica, consecuencia del crecimiento diamétrico de los individuos en las clase siguientes (Figura 25). La acumulación anual es de 1,1 m²/ha/año y una tasas de 4,7 % anual.

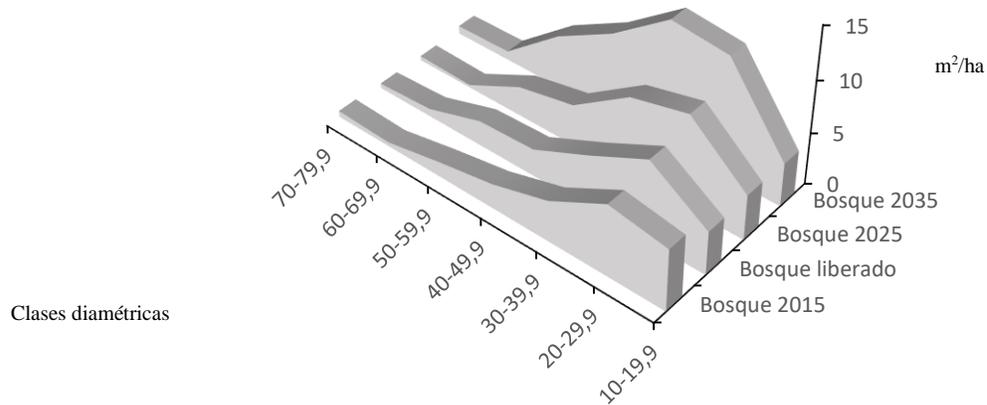


Figura 25. Evolución del AB (m²/ha) con el tratamiento de liberación.

Con el tratamiento el bosque reduce su volumen, pero lo recupera en el periodo de 10 años. Los cambios en el volumen evidencian un aumento, con respecto a la situación inicial de BSI, de 40,23 m³/ha, lo que corresponde a un incremento de volumen anual de 3 m³/ha/año (Figura 26) y una tasa de 2,9 % anual.

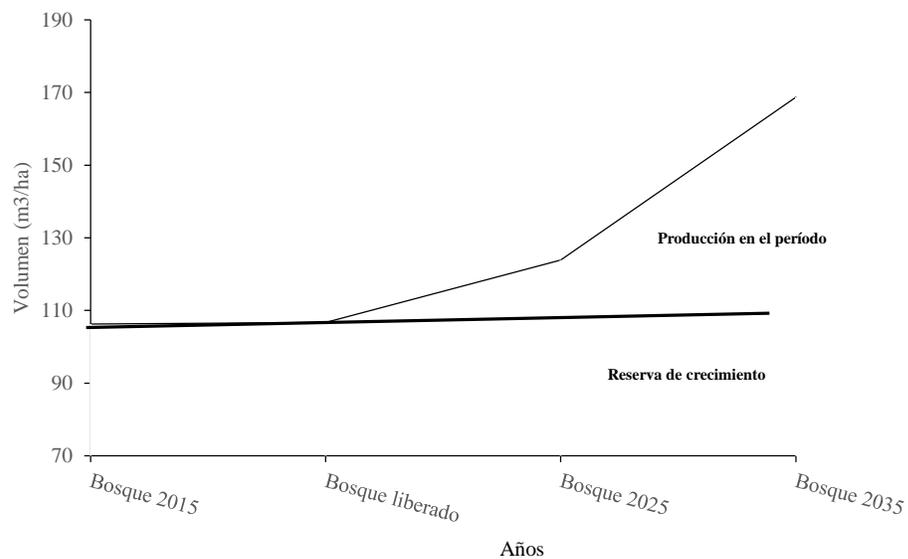


Figura 26. Volumen aprovechable (m³/ha) acumulado con el tratamiento de liberación.

4.4.1.2. Bosque con tratamiento de aprovechamiento según DMC

Con este tratamiento se extraen 55 ind./ha del piso inferior correspondiendo a 28 m³/ha y 7 m²/ha (29,4 %). La proyección de la distribución diamétrica luego del aprovechamiento según DMC se observa en la Figura 27. Se reduce el número de individuos en las clases intermedias, que son las aprovechadas. En 10 años no se logra recuperar la cantidad de individuos con respecto a la situación inicial de BSI, presentándose un déficit de 40 ind./ha. Durante los 20 años se recupera la cantidad de individuos del inicio. El ingreso de nuevos individuos a la primer clase no alcanza a compensar el tránsito de las clases inferiores a las intermedias. El tránsito es menor de las clases intermedias a las superiores debido a la baja existencia de individuos en dichas clases. La tasa de tránsito promedio entre clases es de 4 %.

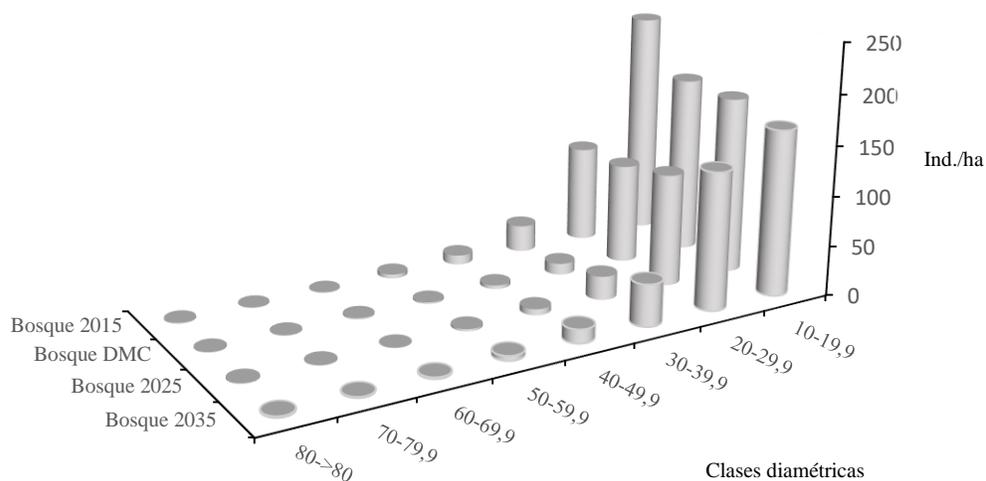


Figura 27. Proyección de las distribuciones diamétricas con el tratamiento según DMC.

En la evolución del AB en el período de 20 años para este tratamiento muestra que las clases inferiores son las de acumulación, principalmente debido al pasaje de individuos provenientes de la clase inferior más baja (primera clase). La acumulación en el período es de 11 m²/ha (Figura 28). Existe un escaso pasaje de las clases intermedias a las superiores. La acumulación anual es de 0,5 m²/ha/año y una tasas de 3,4 % anual.

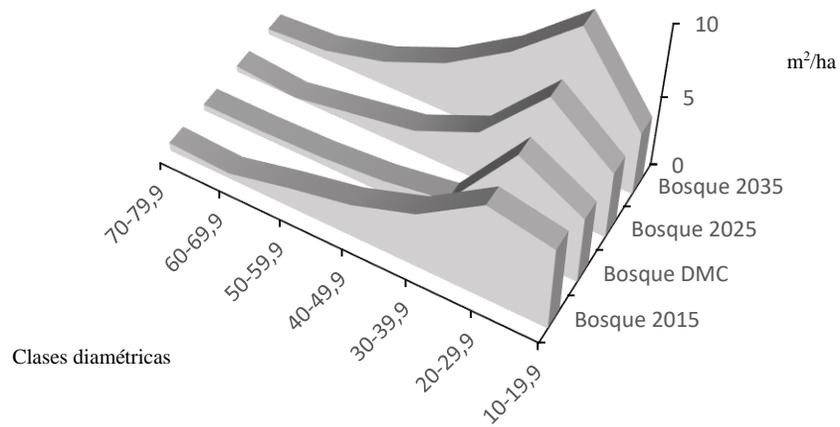


Figura 28. Evolución del AB (m^2/ha) con el tratamiento según DMC.

El volumen aprovechado ($28 m^3/ha$) no se recupera en el período de 10 años con respecto al nivel inicial, con un déficit de $9 m^3/ha$. Sin embargo, a los 20 años se logra recuperar lo extraído con el aprovechamiento (Figura 29). Con un incremento de volumen anual de $2,2 m^3/ha/año$ y una tasa de $1,4 \%$ anual.

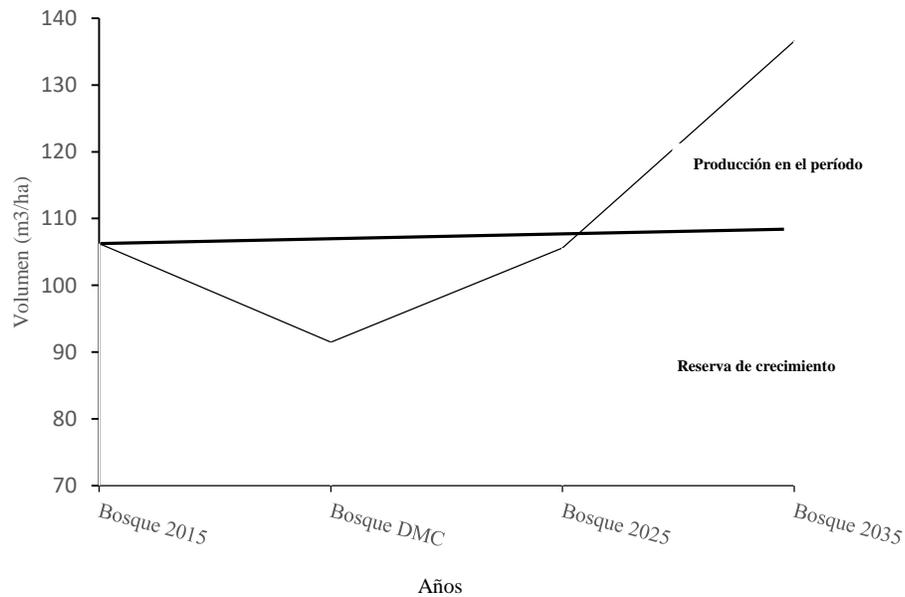


Figura 29. Volumen aprovechable (m^3/ha) acumulado con el tratamiento según DMC.

4.4.1.3. Bosque con tratamiento de aprovechamiento según AFC

Con este tratamiento se extraen 25 ind./ha del correspondiendo a 15,4 m³/ha y 3,5 m²/ha (16 %). Al proyectar, al Bosque aprovechado según AFC, a los 20 años se logra recuperar y superar la cantidad de individuos en las clases de cortabilidad en comparación con el bosque inicial. Al final de la proyección existen un aumento de 40 ind./ha (Figura 30).

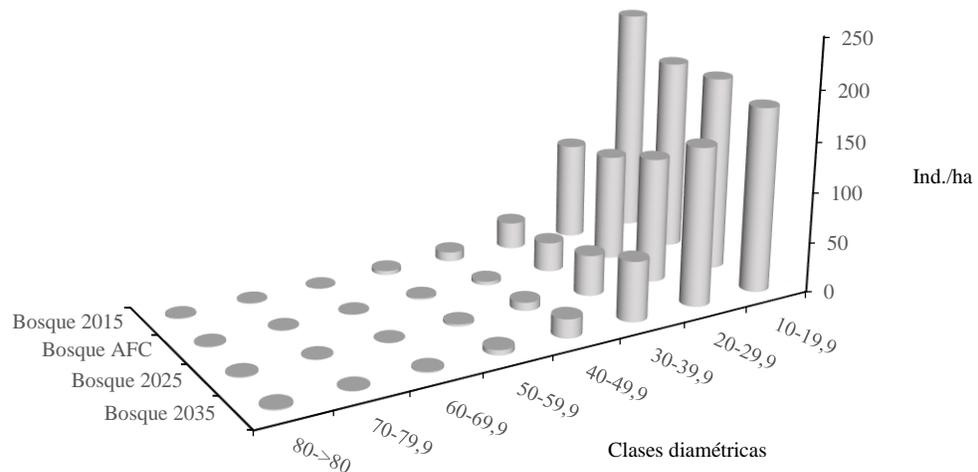


Figura 30. Proyección de las distribuciones diamétricas con el tratamiento según AFC.

Al observar la distribución de la ocupación del bosque en los 20 años, existe un pasaje constante de individuos de las clases inferiores a las intermedias, no se observan clases de acumulación. Se induce a un sistema más dinámico que permite una distribución equilibrada en todas las clases (Figura 31). Al final del periodo existe una acumulación de 13 m²/ha correspondiente a 0,6 m²/ha/año y una tasa 3,5 % anual

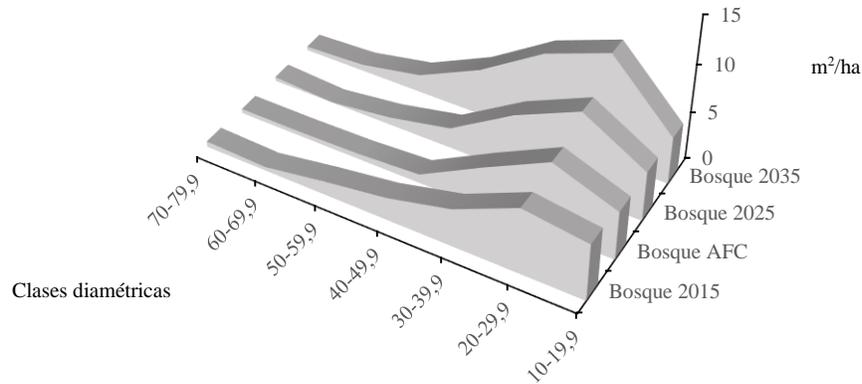


Figura 31. Evolución del AB (m²/ha) con el tratamiento según AFC.

El volumen aprovechado logra recuperarse a los 10 años, existiendo un aumento del volumen de 28,4 m³/ha resultando un incremento anual de 2,4 m³/ha/año resultando una tasa anual de 2,4 % (Figura 32).

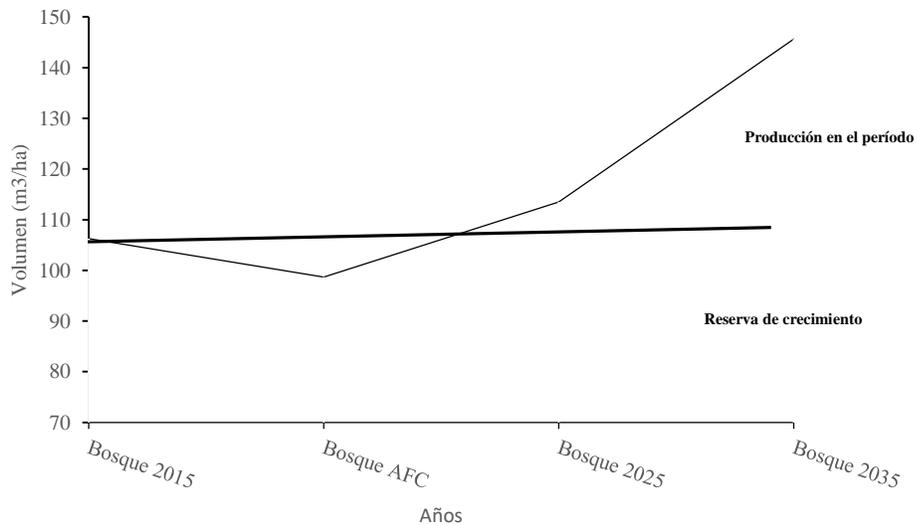


Figura 32. Volumen aprovechable (m³/ha) acumulado con el tratamiento según AFC.

4.4.2. Comparación de los distintos sistemas de manejo planteados

En la proyección y comparación de los distintos tratamientos que pueden ser aplicados al bosque, en todos los casos en los cuales el bosque es intervenido se dinamiza

consecuentemente el volumen maderable es siempre mayor en todos los casos con respecto al bosque inicial. Los tratamientos menos extractivos como el aprovechamiento según AFC, el bosque en la proyección acumulan mayor volumen al compararlo al tratamiento según DMC. Este último es el que deja menor AB remanente (Tabla 44).

Tabla 44. Comparación de los distintos tratamientos.

Tratamiento	Volumen aprovechado (m ³ /ha)	Volumen acumulado (20 años) (m ³ /ha)	Árboles extraídos (Ind./ha)	AB remanente (m ² /ha)	Incremento volumétrico anual (m ³)	Tasa anual (%)
BSI		22,8			1,4	1,3
Liberación		36	40	20	3	2,9
DMC	28	30	55	17	2,2	1,4
AFC	15	39	25	19	2,4	2,5

Al graficar la proyección del volumen de los distintos tratamientos se resalta que a medida que el tratamiento es más extractivo existe un mayor periodo en recuperar el volumen aprovechado inicialmente. (Figura 33).

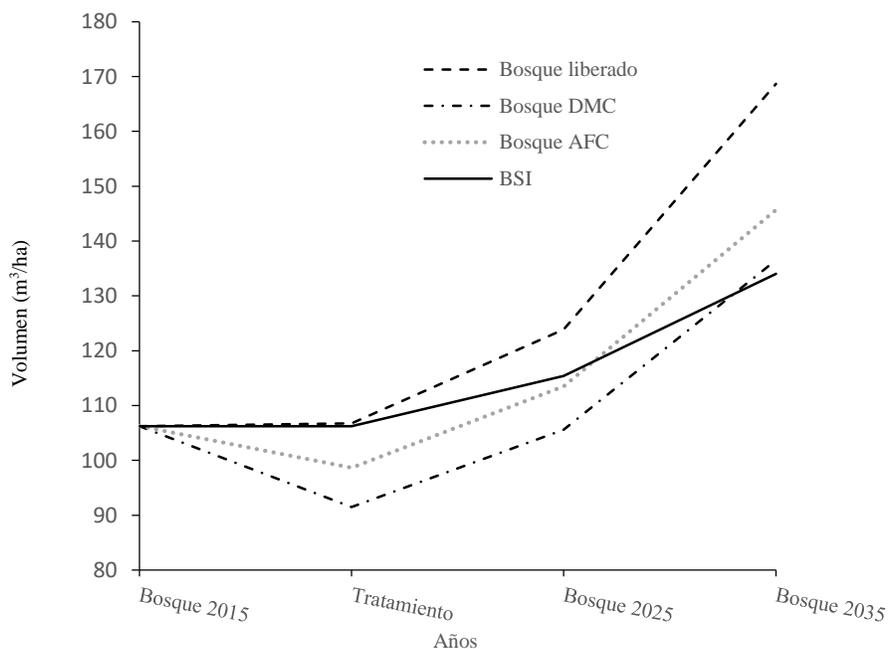


Figura 33. Proyección del bosque sometido a los distintos tratamientos

4.4.3. Distribución balanceada de los distintos tratamientos

La construcción de la distribución balanceada se basó en la distribución diamétrica de BSI. Se seleccionó un valor de $q= 1,5$ con el objeto de reconstruir una distribución de individuos que en el futuro aseguren la provisión a las clases intermedias y superiores, manteniendo la estructura irregular del bosque (Brassiolo y Abt, 2014). El objetivo principal para el periodo de 20 años es la preservación y recuperación de la Distribución. No se prioriza una producción a corto o mediano plazo. Se considera que la Distribución *balanceada* del AB es la expresión del grado de ocupación (m^2/ha) de cada clase diamétrica de modo que permite la regeneración del bosque con posterioridad a un tratamiento de aprovechamiento.

En este estudio se compararon los histogramas de la distribución balanceada en las siguientes situaciones:

- a.- BSI con tratamiento de liberación
- b.- BSI con aprovechamiento según DMC
- c.- BSI con aprovechamiento según AFC

Este contraste entre las diferentes situaciones se hizo para evaluar cuanto se aproximan o alejan las distribuciones resultantes de los tratamientos con la situación de balanceamiento.

En la figura 34 se puede observar la producción de BSI en el periodo con tratamiento de liberación y la correspondiente distribución balanceada, o situación de equilibrio, que se fijó como objetivo para orientar el manejo en el futuro. Los valores positivos indican excedentes con respecto a la distribución balanceada, lo que se verifica en las clases inferiores e intermedias. Los valores negativos indican déficit, lo cual se observa en las clases superiores. Los excesos son individuos potenciales para ser aprovechados.

En las clases en que existe una ocupación mayor con relación a la distribución balanceada se asegura el pasaje de individuos entre clases, siempre que se opte por no cortar los excedentes para aumentar las existencias.

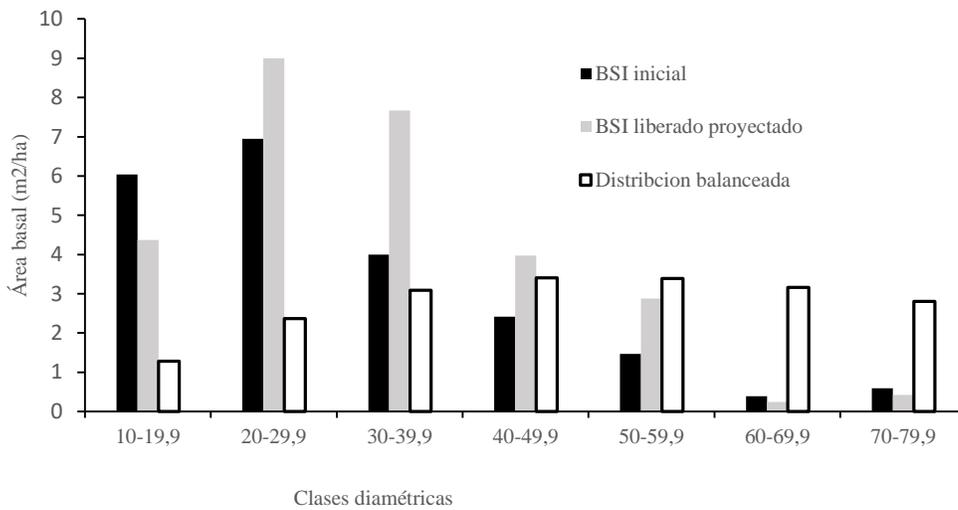


Figura 34. Distribución del AB proyectada y balanceada de BSI liberado.

La distribución proyectada de BSI en el periodo según un tratamiento DMC, presenta un déficit en las clases diamétricas intermedias y superiores con relación a la distribución balanceada, dejando la distribución sin potenciales individuos para aprovechar (Figura 35). Es decir, este tipo de tratamiento no favorece al objetivo de balanceamiento que se quiere alcanzar, por lo tanto no sería aconsejable en esta situación.

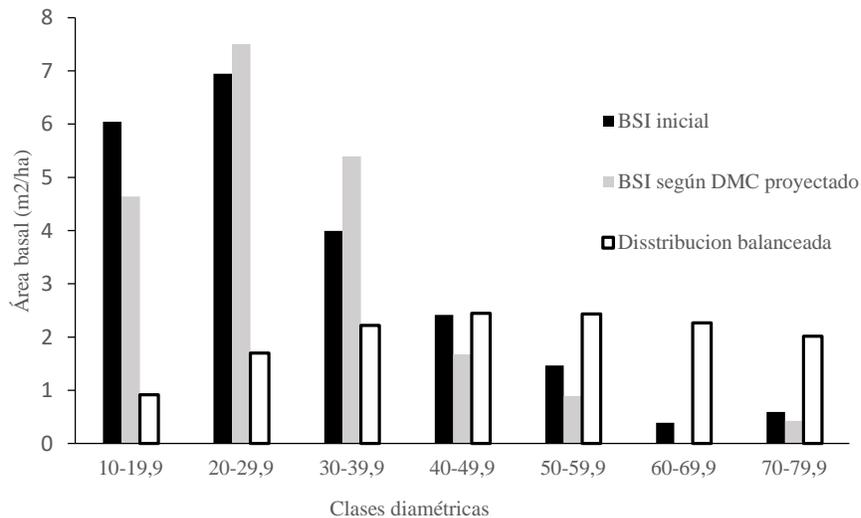


Figura 35. Distribución del AB proyectada y balanceada en BSI aprovechado según DMC.

Cuando BSI se somete a un tratamiento según AFC, el resultado es un exceso de ocupación en las clases inferiores, que aseguran un tránsito de individuos a las clases intermedias. Se observa también que existe un equilibrio en las clases intermedias y solo en las clases superiores se crea un déficit. De acuerdo a la situación final, este método sería más adecuado para acercar la distribución a la que se ha determinado como objetivo (Figura 36).

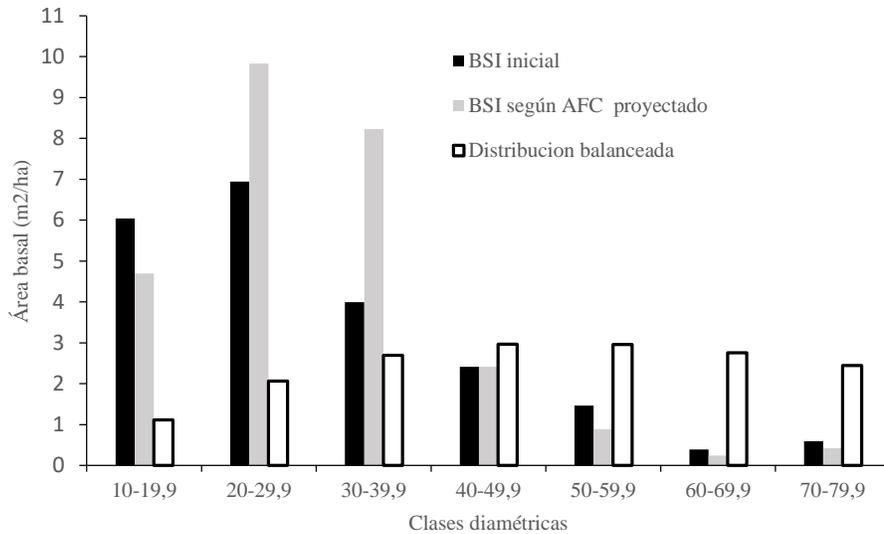


Figura 36. Distribución del AB proyectada y balanceada en BSI aprovechado según AFC.

5. Discusión de los resultados

5.1. Crecimiento

Los crecimientos para las especies de BSI son similares a los del Bosque Chaqueño Santiagueño en regeneración de 0,3 cm/año (Araujo, 2003) y a los de bosques primarios en Selva Misionera (0,5 cm/año) (Gauto, 1997) resultando sensiblemente menores al contrastarlos con los obtenidos para Yungas de 0,8 cm/año y tasa 1.4% (Humano, 2013).

Los crecimientos más frecuentes en BSI resultaron similares a los de, Humano (2013) para las especies de Yungas de 0,34 cm/año. De acuerdo con la clasificación de GMSJ (2010) corresponden a bosques de lento crecimiento, menores a 0,5 cm/año.

La variabilidad de los crecimientos individuales, al punto de no ser posible ajustar una ecuación, también ha sido mencionado por otros autores (Araujo, 2003; Gasparri y Goya, 2006; Humano *et al.*, 2012; Humano, 2013). En todos los casos se hace difícil lograr un buen ajuste matemático debido a la dispersión tan irregular que presentan los datos, lo cual se resuelve mediante el agrupamiento en clases y el uso de modelos no lineales polinómicos (Meza *et al.*, 2003; Wellenbeck, 2007).

Interpretando los resultados de las simulaciones de *A. colubrina*, *S. lorentzii* y *P. excelsa*, se observa *que* existirían tres fases de crecimiento según lo propuesto por Lamprecht (1990). Una fase inicial de escaso crecimiento, una fase de crecimiento creciente y una última fase más extensa donde el crecimiento es reducido debido a la edad.

Existe una variada información sobre el crecimiento de bosques disturbados por intervenciones, Navall (2012) determinó aumentos en las tasas relativas de crecimiento del bosque del Chaco Semiárido intervenido con una reducción del AB en un 30 % (9,3 %) con respecto al bosque testigo (5,2 %), con crecimientos de 0,5 cm/año de los individuos (Brassiolo y Grulke, 2015). Humano (2013) indica valores de crecimiento 0,3 cm /año y una tasa de 1,3 % para sistemas de Yungas, que aumentan su tasa a 2,2 % al ser aprovechados. Villegas *et al.* (2008) cita para el Bosque Seco Chiquitano de Bolivia un crecimiento de 0,41 cm /año equivalente a una tasa de 1,5 % que al ser aprovechados incrementan su tasa a 2,3 %, situación que también se observa en este trabajo entre BSI y BI con tasas de crecimiento de 1,5% y 3,8%. La diferencia podría atribuirse a la menor ocupación (AB) y consecuente menor competencia arbórea en BI (Humano, 2013). Esta diferencia puede atribuirse a la menor densidad de individuos, lo que aumenta las tasas de crecimiento por la mejor utilización de los recursos (Burkes *et al.*, 2003). Sin embargo, la disminución severa de la densidad no representa un aumento continuo de crecimiento (Barth *et al.*, 2010). La densidad es un factor que el silvicultor puede manejar en el desarrollo del bosque influyendo las tasas de crecimiento (Díaz *et al.*, 1998; Martínez Pastur *et al.*, 2001; Gasparri y Goya, 2006).

En BI las clases diamétricas presentan diferencias de crecimiento entre las clases superiores e inferiores, no encontrándose en BSI una característica atribuible a bosques sin disturbios poco dinámicos (Lamprecht, 1990; Humano, 2013). Esta situación de mayores crecimientos a medida que aumenta el tamaño de los individuos se observó en Yungas (Humano, 2013) y en Bosques tropicales de Costa Rica (Meza *et al.*, 2013). Según Gasparri y Goya (2006) el crecimiento aumentaría con medidas silvícolas que mejoren las condiciones de iluminación de los individuos de interés comercial. Las variables relacionadas con el tamaño (clase diamétrica) y la iluminación que recibe el individuo (Posición vertical) son las de mayor influencia al momento de explicar el crecimiento de los árboles.

Al estratificar los individuos según su posición vertical, los del estrato superior tienen mayores crecimientos. Lamprecht (1990) caracterizó a este estrato como el capaz de captar mayor luz y, Vásquez y Orozco (1992) consideran que una copa que domine el dosel le permitirá captar mayor cantidad de luz favoreciendo su crecimiento, de ahí que conocer la posición que ocupa una especie en la estructura sirve para evaluar sus habilidades competitivas (Finol 1975).

Al considerar la tolerancia de las especies, las heliófilas poseen mayor crecimiento que las umbrófilas, situación que también ha sido señalada por Humano (2013) para las especies

de Yungas con 0,6 y 0,4 cm/año respectivamente, similares a los de este estudio. En cambio, Kees *et al.* (2019) obtuvieron diferencias significativas en especies de temperamento robusto (0,35 mm/año) (heliófila) sobre las delicadas (0,15 cm/año) (umbrófila) del bosque Chaqueño bajo manejo de AFC. Asimismo, Mendoza *et al.* (2013) obtuvieron datos mayores de 2,2 cm/año para las heliófilas y 1,3 cm/año para las umbrófilas en el bosque subhúmedo Ecuatoriano. En sus estudios Louman *et al.* (2001), Mendoza *et al.* (2013) y Humano (2013) enfatizan que la luz constituye uno de los aspectos decisivos en el crecimiento, siendo las heliófilas las que deberían tener mayor crecimiento al mejorar las condiciones de iluminación.

El crecimiento de *S. lorentzii* resultó superior al de 0,3 cm/año calculado por Araujo *et al.* (2007), en tanto *P. nigra* tiene igual crecimiento de 0,4 cm/año (Juárez *et al.*, 2006) de individuos del Bosque Chaqueño Santiagueño. En el caso de *A. colubrina* su crecimiento resulta mayor al valor obtenido por Humano (2013) de 0,5 cm/año y similar al estimado por Gutiérrez *et al.* (2019) de 0,7 cm/año para individuos de Yungas.

Se pueden definir grupos de crecimientos en donde *T. tipu*, *A. colubrina* y *P. excelsa* son las especies de mayores crecimientos y, *P. nigra* y *C. paraguariensis* son las de menores crecimientos; En tanto se puede definir a *S. lorentzii* como una especie de crecimientos intermedios entre las especies anteriores. Si se mejora la iluminación y reduce la competencia las especies que se ven favorecidas son *A. colubrina*, *S. lorentzii* y *C. paraguariensis*.

Relación entre el crecimiento y ciclo de corta

Los datos de crecimiento diamétrico tienen una aplicación práctica en la determinación del ciclo de corta y en la regulación de la producción del bosque. Particularmente el crecimiento de la clase anterior a la cortable sirve para calcular el tiempo de tránsito y el módulo de rotación o ciclo de corta (Araujo, 1993).

Por otra parte, con relación al tiempo que necesitan los individuos para alcanzar el DMC cuando ya tienen 10 cm de DAP (*S. lorentzii*, *A. colubrina* y *P. excelsa*), son menores a los encontrados en la bibliografía. En Yungas Humano (2013) calculó ese tiempo en 30 años para *A. colubrina* y 40 años para *P. excelsa*. Gutiérrez *et al.* (2019) estimaron el turno biológico para *A. colubrina* en 40 años con DAP de 35 cm. Con respecto a *S. lorentzii*, Giménez y Ríos (1999) estimaron 250 años para el turno de corta tecnológico y Juárez de Galíndez *et al.* (2006) estimaron la edad de culminación del crecimiento biológico para *S. lorentzii* en 67 años.

Los menores tiempos de *A. colubrina* y *P. excelsa* para alcanzar el DMC con respecto a Yungas puede atribuirse a las mejores condiciones de crecimiento, donde junto al *S. lorentzii* son las especies dominantes en ocupación y estructura vertical en el bosque chaqueño (Humano *et al.*, 2012), en tanto que en Yungas ambas son especies secundarias y acompañantes de *C. multiflorum* y *P. rhamnoides* (Humano, 2013).

López *et al.* (2012) afirman para los bosques secos subtropicales, que los crecimientos son más lentos de lo que comúnmente se asume, con variaciones importantes entre especies y entre grupos de especies. Por ello, establecer pautas de manejo generales para todas las especies, sin considerar las tasas reales de crecimiento, no sería adecuado y en algunos casos se puede poner en riesgo la sostenibilidad productiva del bosque.

El ciclo de corta calculado para el bosque estudiado es de 24 años, mayor al propuesto por Grulke *et al.* (2007) y Brassiolo y Abt (2014) de 15 años. Para Bosques del Chaco Húmedo también Kees *et al.* (2018) proponen ciclos de 25 a 30 años. Por otra parte, Hampel (1995) propuso para bosques Chaqueños con entresacas de baja intensidad (reducción del AB del 20 %) ciclos de corta de 12 años. Asimismo, Araujo (1993) calculó un ciclo de corta, con igual metodología, de 20 años para bosques en la Mata Atlántica.

El crecimiento, que se obtuvo, de la clase de anterior a la de cortabilidad es de 0,45 cm/año, siendo superior al propuesto por Araujo (2003) para el Bosque Chaqueño seco de 0,36 cm/año.

De lo expuesto, se deduce que diferentes ritmos de crecimiento determinan diferentes ciclos de corta en las formaciones nativas, que se pueden caracterizar como de lento crecimiento, con un rango que va desde los 12 hasta los 30 años, lo cual también depende de la amplitud de la clase diamétrica que haya utilizado en el análisis. En todos los casos queda claro que la definición de los DMC y ciclos de corta deben ser acordes a las características biológicas y tasas de crecimiento de manera que se garantice la recuperación del sistema, la preservación de la biodiversidad y el abastecimiento a la industria forestal.

5.2. Regeneración

La mayor riqueza y abundancia de especies heliófilas sobre las umbrófilas distinguen al bosque estudiado de las formaciones de las Yungas, de acuerdo con lo referido por Humano (2013). Según este autor existe mayor riqueza y abundancia de especies umbrófilas en las Yungas, lo cual es coincidente con lo observado por Wenzel y Hermann (1998) en un bosque

cerrado del Chaco Húmedo donde también observaron, una mayor abundancia de umbrófilas (*P. rhamnoides*, *Patagonula americana* y otros). Asimismo, Guzmán Gutiérrez (2001) y Louman *et al.* (2001) consideran que el agrupamiento en gremios es efectivo para definir su comportamiento ante los gradientes ambientales de luz y suelo, siendo la luz el más condicionante para el éxito de su instalación.

El aprovechamiento realizado en BI con la consecuente reducción del AB, evidencia la relación entre cobertura arbórea y abundancia, frecuencia y, clase de tamaño de la regeneración natural de las especies heliófilas. A una menor cobertura le corresponden mayores valores de esos parámetros. Según Pariona (2001) los claros aumentan los niveles de luz en el sotobosque favoreciendo el establecimiento de regeneración de las heliófilas. En ese mismo sentido Kees *et al.* (2018) encontraron en el Bosque Chaqueño Húmedo una estrecha relación entre la intensidad de la intervención y la abundancia de la regeneración establecida. Las heliófilas son las más favorecidas por una intervención con apertura moderada de la cobertura. En esa misma línea Wenzell y Hampel (1998) afirman que para el Chaco seco la abundancia y tamaño de renovales aumenta en bosques con AB y coberturas reducidas.

En BI la reducción del 30 % del AB favoreció a las especies heliófilas por una disminución moderada de la cobertura. Es decir, la intensidad del tratamiento se relaciona con el temperamento de las especies regeneradas (Valentini y Lombardi, 1978; Wenzel y Hampel 1998). Hampel (1995) determinó, cuando la apertura es leve (25% del AB), que las especies que mejor regeneran son heliófilas, y si las intervenciones son más severas las que regeneran son las heliófilas efímeras. Esta última afirmación se sustenta en la mayor abundancia y diversidad de especies heliófilas en BI con respecto a BC. Wenzel y Hermann (1998) también observaron que el número de renovales es más elevado en lugares con AB inferiores a 20 m²/ha. En sitios con AB mayor que 28 m²/ha encontraron menos renovales. El valor promedio del AB de los sitios de estudio es menor de 18 m²/ha, encontrándose una correlación inversa entre la cobertura arbórea y el AB con respecto a la abundancia de la regeneración.

Según la bibliografía consultada, el sistema de aprovechamiento AFC produce una menor reducción de la cobertura y una mejor distribución espacial de los claros, propiciando las condiciones para un rápido establecimiento de la regeneración (Guzmán *et al.*, 2012). Wenzel y Hermann (1998) demostraron que para este tipo de bosques, intensidades mayores son contraproducentes para la regeneración por la fuerte reacción de lianas y de especies arbustivas del sotobosque.

La abundancia de la regeneración natural es menor con relación a la registrada por otros autores para el Bosque Chaqueño. Wenzel y Hermann (1998) contabilizaron 1500 ind./ha. Estudios realizados por la SAyDSCh. (2005) estimaron 246 ind./ha, en tanto que Araujo (2003) reporta 5.600 ind./ha y Brassiolo (2004) 450 ind./ha. Las diferencias pueden deberse a las diferentes historias de uso, entre ellas la ganadería intensiva. Gómez *et al.* (2009) estimaron que el daño y la mortalidad de la regeneración producidos por la ganadería es de aproximadamente un 75% con respecto a un bosque sin pastoreo.

En opinión de Blundo y Malizia (2008) los distintos sistemas de manejo afectan la abundancia de las especies comerciales siendo muy distinta entre ellas, así como también es influenciada por la disponibilidad de luz, formación de claros y la competencia con las especies pioneras. En el presente estudio se observó en BI mayor abundancia y mayor tamaño de la regeneración que en BC, lo cual puede relacionarse con la mayor disponibilidad lumínica en el sotobosque. Eibl *et al.* (1995) determinaron una menor abundancia de la regeneración en Bosques sin disturbio (22.200 ind./ha) de la Selva Misionera en comparación a bosques aprovechados con mayor iluminación (33.000 ind./ha). Asimismo, Pariona (2001) encontró una abundancia 3 veces mayor en bosques subtropicales aprovechados de Bolivia.

Con respecto a la frecuencia de la regeneración, expresión de su distribución espacial y grado de dispersión, las 2 especies más frecuentes son *S. lorentzii* y *C. paraguariensis* con una mejor distribución espacial, lo cual también fue observado por Wenzel y Hermann, (1998) y Gómez *et al.* (2009), por ser especies muy afectadas o beneficiadas por la formación de claros (Gómez, 2011). Varios autores (Gómez *et al.*, 2011; Humano *et al.*, 2012; Humano *et al.*, 2013) vinculan la frecuencia con una mayor presencia y proporción de árboles semilleros con respecto a las otras especies. En el resto de la regeneración que no modificó su abundancia o frecuencia en BI y BC, se debe valorar la influencia de animales y el viento en la dispersión de sus semillas (De Noir *et al.*, 2002).

Con relación a la distribución en clases de tamaños, es más regular y de mayor tamaño en BI que en BC, por cuanto la apertura dinamiza el bosque con una mayor abundancia y diversidad de la regeneración. Cellini (2010) estimó que el crecimiento en tamaño de la regeneración de *Nothofagus pumilio* alcanza un máximo con valores intermedios de cobertura (75%). Asimismo, para bosques del Chaco Semiárido Brassiolo y Pokorny (2000) y Navall (2006) afirman que los renovales deben alcanzar los 2 m de altura para que tengan la posibilidad de pasar a reclutamiento, lo cual requiere de un tiempo entre 7 y 12 años.

El índice relativo de la regeneración (RNR) muestra que la regeneración de las especies heliófilas predomina en ambos sistemas (BI y BC), en coincidencia con los resultados de Pinazo y Gasparri (2003) y Gómez (2011). Araujo (2003) encontró idéntica situación en el Bosque Chaqueño en regeneración con *S. lorentzii* y *A. quebracho blanco*; en tanto Humano (2013) encontró en Yungas mayor importancia de especies umbrófilas como *P. rhamnoides*, *Myroxylum peruiferum* (quina) y *C. multiflorum*.

Distribución de la regeneración natural

En BI se presenta un patrón agregado de la regeneración. El aprovechamiento tuvo efectos opuestos, por un lado los daños y mortalidad de los individuos, y por otro el aumento de la disponibilidad de luz. Según Gómez (2011) los disturbios y otras actividades antropogénicas influyen sobre la distribución espacial, incluso pueden alterar significativamente la abundancia. En ambientes forestales densos, como los bosques subtropicales, el principal factor limitante para el establecimiento de nuevas cohortes es la disponibilidad de espacio (Rozas, 2002). En esa misma línea, (Pinazo *et al.*, 2010) determinaron para bosques aprovechados de Selva Misionera un patrón agregado para varias especies heliófilas (*C. fissilis*, *Balfourodendron riedelianum*, *A. polyneuron*). En los ambientes disturbados se observó que los árboles remanentes juegan un papel importante como facilitadores, como perchas para dispersores y como aportantes de semillas. Según Batista y Maguire (1998) el agrupamiento responde a características propias de cada especie subtropical y la existencia de sitios aptos. Asimismo, el tamaño de los agrupamientos dependerá de la distancia de dispersión de las semillas (Condit *et al.*, 2000).

El agrupamiento se manifestó en todo el rango de distancias analizado, con un radio de entre 5 y 11 m, situación que estaría influenciada por condiciones de micrositio existentes en el lugar, como también por la dispersión de las semillas. Grau (2000) determinó en bosques aprovechados de Yungas para regeneración de *C. lilloi* un patrón agregado de un radio de 7 a 12 m. De esta manera, los agrupamientos estarían determinados por las distancias de dispersión de sus semillas en conjunción con la disponibilidad de ambientes adecuados para el establecimiento de la regeneración.

La distribución espacial está influenciada por las perturbaciones que se han realizado en el área, las cuales han ocasionado que la distribución de los individuos rompa con la aleatoriedad, determinando patrones agrupados. Esta aseveración se confirma puesto que

según los resultados y otros antecedentes, la distribución tiende a ser agrupada, situación que se da principalmente en distancias cortas para todas las categorías analizadas (Barria, 2018).

Entre los dos sitios (BI y BC) se observa que existe una especie que solo se encuentra en BC, que es *A. quebracho blanco*, cuyo establecimiento natural depende de micrositios sombreados. Barchuk *et al.* (2005) determinaron para esta especie que su emergencia y establecimiento inicial depende de las interacciones del tipo de suelo y la variación estacional de la lluvia, así como la presencia de las plantas nodrizas. El sombreado de las plantas nodrizas pueden mitigar el estrés producido por las severas condiciones físicas (calor y estrés hídrico), moderando las temperaturas del aire y del suelo. Adicionalmente, las diferencias en la tolerancia a la sombra pueden ocasionar agrupamientos de especies demandantes de luz coincidentes con claros producidos en el dosel, o patrones regulares, o al azar, en las especies tolerantes a bajo niveles de radiación (Pinazo *et al.*, 2010).

En BC se estableció un patrón espacial aleatorio, que en general es característico de diferentes tipos de bosque. Lencinas *et al.* (1998) definieron igual patrón para la regeneración de *N. pumilio* en bosques puros. De hecho, los métodos de distancia que se emplean para calcular la densidad tienen como supuesto esa distribución aleatoria de los individuos de una comunidad independientemente de la especie (Gómez, 2011). Este mismo patrón fue encontrado en bosques subtropicales de Bolivia por Zenteno y López (2010) para las especies dominantes *Urera caracasana*, *Trichilia clausenii*, *Piper tucumanum*, *Diatenopteryx sorbifolia*, *Chrysophyllum gonocarpum* y *Cupania vernalis*, atribuibles a la ausencia de claros en el suelo del bosque. En el presente estudio, el patrón encontrado no puede atribuirse a un mecanismo de repulsión entre los individuos, ni a procesos denso-dependientes (competencia) (Barchuk *et al.*, 2005), ni a la distancia a los árboles semilleros (Gómez *et al.*, 2012), más bien se debe a condiciones de nicho de regeneración, procesos de facilitación y especialmente a la oferta de microhábitats con disponibilidad de humedad y sombra, en particular para *A. quebracho blanco* como se citó anteriormente (Marañón *et al.*, 2004; Boetto, 2011).

La liberación de individuos de futura cosecha promovería el establecimiento de la regeneración de las especies de valor, por cuanto tienen disponibilidad de sitios aptos. Estos sitios serían pequeños claros del dosel que permitan la entrada de luz al sotobosque (Grau, 2000). Adicionalmente, se sugiere una relación entre regeneración con los individuos adultos de todas las especies que indicaría que extracciones excesivas eliminaría el rol facilitador de los árboles del dosel, dificultándose la regeneración de estas especies. En este esquema, los conocimientos sobre los patrones espaciales de las especies son de interés para comprender

la dinámica de estos bosques con el objeto de desarrollar técnicas de manejo que permitan el uso racional de los mismos (Pinazo *et al.*, 2010).

Para futuros estudios tomando como base este, se debe ahondar en las tasas de mortalidad y supervivencia de la regeneración, existencia de banco de semillas, existencia de banco de regeneración, efecto de nodricismo y facilitación entre los árboles y la regeneración, efecto de repulsión entre los árboles padres y la regeneración, etc.

5.3. Competencia

El inicio de la competencia para *A. colubrina* y *S. lorentzii* ocurre a partir de que alcanzan una densidad de 2019 ind./ha y 646 ind./ha, respectivamente. Chauchard *et al.* (2001) determinaron como límite superior de inicio de la competencia para *N. pumilio* de 35 cm de DAP la cantidad de 900 ind./ha en Bosque Andino Patagónico.

De acuerdo a las densidades planteadas, individuos de ambas especies de 25 cm de DAP no tienen problemas de competencia en este Bosque, con una densidad de 415 ind./ha. Estos resultados pueden servir como referencia en los trabajos de domesticación de especies nativas orientando las densidades de plantación. Por ejemplo, serían adecuados los marcos de plantación de 2,5 m x 2 m y 3 m x 2 m para *A. colubrina* y *S. lorentzii* respectivamente.

Humano (2014) trabajo con ensayos de crecimiento de *A. colubrina* en una marco 3 x 3 m obteniendo incrementos en AB de 0,6 m²/ha/año (1 % anual) y en volumen de 10 m³/ha/año (9 % anual). Asimismo, Balducci *et al.* (2009) para la misma especie obtuvo, para un marco de 2,5 m x 3 m, un incremento en AB de 0,9 m²/ha/año (1,5 % anual) y en volumen 15 m³/ha/año (22% anual). Los diferentes distanciamientos utilizados podrían responder a una elección basada en la especie, condiciones locales, expertise de los investigadores y, otros factores que no siempre quedan bien aclarados en las publicaciones.

A partir de los modelos obtenidos en este estudio, el silvicultor puede predecir rendimientos futuros para varias condiciones de manejo (densidades) y, de hecho, determinar la intensidad de las cortas según sean los objetivos de manejo.

Varios estudios (Araujo, 2003; Navall, 2012; Humano, 2013) muestran una distribución decreciente de individuos por clases diamétricas. A medida que crecen transitan entre clases aumentando la competencia por recursos y reduciendo su número debido a la mortalidad natural, o eventualmente por la corta. En ese sentido, Wellenbeck (2007) propone cuantificar la competencia para evaluar su influencia en el crecimiento de los árboles.

El índice que mejor ajustó la relación entre el crecimiento y la competencia de los árboles vecinos, es el que considera la vecindad de individuos representada por la cantidad de competidores (Daniels), resultando que a menor cantidad de vecinos competidores el crecimiento es afectado en menor proporción (Álvarez *et al.*, 2003). Este índice presenta una mejor correlación al reflejar situaciones de competencia utilizando las diferencias entre diámetros, número de individuos y distancia entre competidores, datos que manifiestan la dominancia (AB) de los competidores sobre el árbol control (Villarroel y Stuvan, 1996). Raventós *et al.* (1993) y Álvarez *et al.* (2003) determinaron que un índice que considera la vecindad de competidores explica un mayor porcentaje en la variabilidad del crecimiento de los árboles. La competencia que sufre cada individuo se correlacionó razonablemente bien con su diámetro normal, observándose que a mayor tamaño menor es el efecto de los competidores, lo cual ya había sido planteado por Humano (2013) en Yungas.

El factor común en los estudios de vecindad es que utilizan como variable predictora un índice que cuantifica las características del entorno inmediato de los objetos de estudio, en este caso el árbol control. Los índices más simples consideran exclusivamente abundancia de vecinos, mientras que los más complejos ponderarán dichos efectos por atributos de los vecinos, por ejemplo AB, posición vertical, la distancia o la especie (Gómez *et al.*, 2013). La diferencia de tamaño de los individuos y la posición vertical son factores importantes que explican el proceso competitivo. Se determinó que el factor influyente en el crecimiento es la competencia expresada como el AB del bosque, dependiendo del estrato social considerado (Díaz *et al.*, 1998; Martínez Pastur *et al.*, 2001; Gasparri y Goya 2006).

Según Ibáñez *et al.* (2012) cuanto más alejados estén los competidores, la competencia debida a su tamaño disminuye, lo cual se cumple en el caso estudiado. En efecto, se determinó que en los individuos de *A. colubrina* y *S. lorentzii* de mayor tamaño el valor de los índices es menor, debido a que se atenúa la competencia ejercida sobre ellos, por ello los competidores deben ser de mayor tamaño para ser influyentes. Wellenbeck (2007) manifiesta que el crecimiento en diámetro de *Cedrela* ssp. es menos influenciado por la competencia cuanto mayor es su tamaño y su crecimiento se acelera cuando mayor es la ocupación en el sitio.

El hecho de que los árboles son influenciados por los individuos vecinos es una antigua teoría en Ecología. Gómez *et al.* (2013) plantearon en su revisión de los modelos de vecindad, la necesidad de incorporar al análisis la competencia interespecífica y profundizar en la importancia relativa de los atributos de los vecinos (altura, distancia, distancia²) introduciendo el concepto de “vecindad ecológica” para referirse al espacio circular alrededor de una planta

más allá del cual los procesos denso-dependientes son inexistentes. Por ello en este trabajo se priorizo el análisis de un modelo lineal que explique la relación del crecimiento con distintas variables de vecindad y variables propias de árbol control (tamaño, cobertura, posición sociológica, etc.). Los ajustes logrados con las ecuaciones explican el proceso del crecimiento en el cual actúan numerosas variables intra e interespecíficas. Humano (2013) relacionó el crecimiento de las especies maderables de Yungas con variables de ocupación y vecindad de los árboles competidores, logrando un ajuste menor ($R^2= 28 \%$) al de este trabajo. La relación existente entre los factores que regulan el crecimiento no es ampliamente conocida, aunque se acepta que el crecimiento de un árbol está determinado por la variedad de especies presentes, su edad, la calidad de sitio, el número de individuos por unidad de área y la competencia. Por tal motivo, entender la relación competencia-densidad, contribuye a un mejor conocimiento sobre la dinámica del crecimiento de las masas forestales (Reyes *et al.*, 2011).

Con los modelos obtenidos para *A. colubrina* y *S. lorentzii* se estimó que la distancia de su vecino a la cual existe competencia es a 4 m y 5 m, respectivamente. Se puede asumir que el efecto de un árbol vecino es máximo junto al tronco del árbol control, o que el efecto máximo de un vecino se alcanza a una determinada distancia (Gómez *et al.*, 2013). El dato estimado de la distancia de inicio de la competencia sirve para explicar un porcentaje de la disminución en el crecimiento debido a la vecindad (Raventós *et al.*, 1993).

Gómez *et al.* 2013 concluyeron que los modelos de vecindad son una herramienta práctica para cuantificar y entender el papel de las especies en los sistemas naturales pudiendo ser fácilmente integrados en simuladores que permiten estudiar la dinámica de sistemas forestales bajo distintos escenarios climáticos o de gestión.

En futuros estudios deberían incorporarse a los modelos índices que expresen la calidad de sitio (Humano, 2013), de manera que se usen como una herramienta para tomar decisiones de manejo forestal como cortas intermedias de liberación, MBGI o sistema de aprovechamiento AFC.

5.4. Proyección del crecimiento y producción

La proyección de los crecimientos en BSI mostró valores relativamente bajos, en el mejor de los casos de 0,4 cm/año para las especies dominantes. Hampel y Gómez (1997) determinaron un valor de 0,37 cm/año para bosques sin disturbios en el Chaco Húmedo.

La distribución diamétrica proyectada muestra un mayor pasaje de individuos entre las clases intermedias que en las superiores. En BSI el ingreso a la primer clase es bajo debido a la ausencia de disturbios que generen nuevos espacios para instalarse. Araujo (2003) considera que a pesar de esta situación la primera clase abastece gradualmente a las intermedias. En general el bosque muestra una tendencia de constante equilibrio o a equilibrarse (Eliano *et al.*, 2009). Los individuos se concentran en las clases intermedias, lo cual hace previsible que en el futuro aseguren la provisión a las clases superiores (Araujo, 2003).

En el periodo de 20 años se incorporaron 30 ind./ha a una tasa de 1,3 % anual y un incremento de 1,5 ind./año. Araujo (2003) estimó para el Bosque Chaqueño Semiárido en regeneración una ganancia de 45 ind./ha en 15 años a una tasa de 0,9 % anual y un incremento de 3 ind./año, en condiciones de semiaridéz con menores precipitaciones. Humano (2013) obtuvo para un ecosistema más húmedo como las Yungas una tasa de 1 % y un incremento de 4 ind./año.

La proyección del AB muestra una acumulación en las clases intermedias correspondiente al pasaje de individuos desde las inferiores. El crecimiento del AB (12 m²/ha) es mayor al proyectado por Humano (2013) (7 m²/ha) para la Selva de Yungas, y también que la del Bosque en regeneración de 8,11 m²/ha (Brassiolo, 2004). Por otra parte, el incremento anual en AB (0,5 m²/ha/año) es similar al de la Selva Misionera según estudios de Gauto *et al.* (1996).

El incremento anual de volumen aprovechable, según lo proyectado, es de 1,44 m³/ha/año, valor que resulta menor a los registrados en la Selva de Yungas (2,30 m³/ha/año) (Humano, 2013) y para la Selva Misionera (3,01 m³/ha/año) (Gauto *et al.*, 1996). Comparado con el Bosque Chaqueño Semiárido (0,9 m³/ha/año) (Araujo, 2003) es un 37 % mayor.

En el tratamiento de liberación existe una ganancia de 123 ind./ha al final del periodo, producto de un incremento de 6 ind./año a una tasa de 1,9 % anual. En Yungas, con un tratamiento similar, Humano (2013) observó una menor acumulación en igual periodo (113 ind./ha) a una tasa de 1,6% y un incremento de 5,5 ind./ha. Cabe aclarar que el tratamiento en Yungas extrajo un 9 % de la densidad original del bosque a diferencia de este trabajo que fue del 12 %. Hutchison y Wadsworth (2006) estimaron un aumento de 18 ind./año para un Bosque tropical. En la simulación del tratamiento se extraen 30 ind/ha (29 %) correspondientes a 3 m³/ha (13 %) y un AB de 2 m²/ha (10 %). Wadsworth y Zweede (2006) estimaron una extracción de 50 ind./ha (7%) para un tratamiento de liberación en Bosque de la Amazonia

Brazileña (Pará) que corresponde 23 m³/ha (9%) y un AB de 4,5 m²/ha (15 %). En un tratamiento de liberación aplicado a un Bosque tropical de Costa Rica (3.000 mm/año) Hutchison y Wadsworth (2006) contabilizaron una extracción de 64 ind./ha (16%) correspondiendo a una reducción de 9 m²/ha (25 %) y 100 m³/ha (45%).

Aplicado el tratamiento, basado en los crecimientos estimados por Humano *et al.* (2013) para un bosque disturbado en Chaco Semiárido, la proyección generó un incremento en AB de 1,1 m²/ha/año a una tasa del 4,5 %. El incremento del AB es un valor próximo al obtenido por Araujo (2003) (1 m²/ha/año) para el Bosque Chaqueño en regeneración. En el caso de Yungas, con el mismo tipo de tratamiento el incremento fue de 1,5 m²/ha/año (Humano, 2013) es un 50 % más, pero se debe tener en cuenta que es una formación más húmeda y de mayor densidad de árboles. Comparado con bosques subtropicales primarios, los incrementos son sensiblemente mayores (2,2 m²/ha/año) (Rojas, 1970). Asimismo, Hutchison y Wadsworth (2006) obtuvieron incrementos superiores en un 100 % (2,2 m²/ha/año) en el Bosque tropical de Costa Rica.

La proyección del volumen muestra aumentos de 3 m³/ha/año a una tasa del 2,9 % anual. Para Yungas Humano (2013) obtuvo un dato menor de 5,2 m³/ha/año correspondiente a una tasa de (3 %).

Wadsworth y Zweede (2006) consideran que es efectivo reducir el efecto de la competencia sobre los árboles de interés forestal y de aquellos que aún no llegaron a su DMC. Para Martínez Pastur *et al.* (2001) esta reducción permite mayores crecimientos inmediatamente después de la intervención posibilitando redirigir el crecimiento hacia individuos selectos. Hutchison y Wadsworth (2006) concluyen que los crecimientos de los árboles liberados es superior en todos los estratos verticales sobre los no liberados.

Para el tratamiento según DMC, se proyectó una extracción de 55 ind./ha que equivale a 7 m²/ha y un volumen de 28 m³/ha. El porcentaje del AB extraído es del 29%, lo cual es coincidente con el criterio de Brassiolo y Grulke (2008) y Peri *et al.* (2018), quienes recomiendan un valor máximo del 30 % de reducción del AB para Chaco Semiárido.

Al final del periodo se recupera el AB extraída que registra un incremento de 0,5 m²/ha/año a una tasa de 3,4 % anual. Bonino y Araujo (2005) estimaron crecimientos de 0,2 m²/ha/año en Bosques primarios del Chaco seco con AB de 5 m²/ha. Los referidos autores sugieren que el proceso de recuperación es lento debido al bajo crecimiento de las especies. Sin embargo, kees *et al.* (2018) obtuvieron el mismo incremento (0,2 m²/ha/año) en un bosque del Chaqueño Húmedo, donde sería esperable un mayor crecimiento. Humano (2013) para

Yungas obtuvo un crecimiento de 0,7 m²/ha/año una tasa de 3,7%. Tálamo y Caziani (2003) encontraron que en Bosques del Chaco Argentino afectados por intensos disturbios, en 10 años solo recuperan el 1,5 % (2 m²/ha) del AB del bosque original, sugiriendo que el proceso de recuperación evoluciona lentamente.

El volumen aprovechado (28 m³/ha) se recupera recién al final del periodo probablemente porque la intensidad de la corta condiciona la recuperación del bosque. El incremento obtenido es de 2,2 m³/ha/año a una tasa de 1,4 % anual, superiores a los calculados por Fredericksen (2003) para el Chaco Boliviano, de 1,2 m³/ha/año y una tasa de 1,4%, en tanto para Yungas Humano (2913) obtuvo un valor superior de 3,8 m³/ha/año y tasa de 4 %.

Fredericksen (2003) y Blundo y Malizia (2008) sugieren que el disturbio propiciará una mayor instalación de especies heliófilas y posteriormente, al cerrarse el dosel, se instalarán las umbrófilas tardías.

Varios autores (Lamprecht, 1990; Talamo y Caziani, 2003; Bonino y Araujo, 2005; Araujo, 2003; Blundo y Malizia, 2008; Humano, 2014) hacen hincapié en mantener una distribución irregular de los individuos para preservar la sostenibilidad del proceso productivo. Morello y Saravia Toledo (1999) y Tálamo y Caziani (2003) consideraron que la pérdida de la fisonomía forestal está relacionada con el mal uso de los recursos naturales en el Bosque Chaqueño y que además es de carácter irreversible. Según Blundo y Malizia (2008) la intensidad y frecuencia de los aprovechamientos son determinantes en el tiempo de recuperación. El tratamiento debe basarse en la dinámica del bosque, con el fin de asegurar su regeneración. La estructura resultante debe ser representativa, tanto en la composición (riqueza y abundancia) como en la distribución diamétrica. El remanente de árboles cumplirá funciones de cobertura, producción de semillas, hábitat de fauna, ciclado de nutrientes, etc. (Peri *et al.*, 2018).

Respecto de la intensidad del aprovechamiento, Bonino y Araujo (2005) proponen mantener el 60-70% del AB del bosque primario, así como la distribución irregular de los diámetros arbóreos. Refiriéndose a la frecuencia de los aprovechamientos, Humano (2013) propone ciclos de corta superiores a los 30 años basado principalmente en lo poco abundante de las especies maderables y en su moderado crecimiento.

La proyección del tratamiento menos extractivo y más conservador de la estructura (AFC), también ha sido propuesto para los bosques subtropicales por Grulke *et al.* (2007),

Eliano *et al.* (2009) y Balducci *et al.* (2012). Con este tratamiento en 10 años se recuperan los individuos (25 ind./ha), el AB (3,5 m²/ha) (15%) y el volumen (15 m³/ha) que fueron extraídos. En la proyección del crecimiento del AB y volumen se obtienen 0,6 m²/ha/año (3,8%) y 2,4 m³/ha/año (2,1 %).

Los valores obtenidos del AB son mayores a los propuestos por Gómez *et al.* (2012) y Kees *et al.* (2018), quienes los estimaron 0,3 m²/ha/año (1,2%) para bosque del Chaco con tratamiento de AFC en un periodo de 16 años de mediciones.

Con respecto al incremento volumétrico, resultó inferior al encontrado por Humano (2013) para Yungas de 5 m³/ha/año y tasa de 5 %. En Selva Misionera ese incremento es de 1,5 m³/ha/año a una tasa de 1,1 % (Gauto *et al.*, 1996).

Comparando los sistemas de aprovechamiento (DMC y AFC), hay una gran diferencia en la cantidad del AB del bosque residual preservado, la cual se constituye en la reserva de crecimiento o capital biológico que proporciona la base para la sostenibilidad del proceso productivo. Este objetivo necesita de un modelo de gestión para su logro (Araujo, 2003). Peri *et al.* (2018) recomiendan que el aprovechamiento se ajuste las tasas de crecimiento, debe mantener un stock y cobertura remanente mínimos para la preservación de hábitat, de la biodiversidad y de los demás servicios. A través del aprovechamiento se debe conducir la estructura y monitorear su estado periódicamente.

En el presente estudio el bosque residual recupera el volumen extraído en 10 años con el tratamiento de AFC, en tanto que con el criterio del DMC se logra en 20 años. Araujo e Iturre (2007) opinan que en bosques en regeneración del Chaco Semiárido los tratamientos que producen grandes perturbaciones son inapropiados para el mantenimiento de una masa mixta evolucionada. En cambio, sí se asemejan a pequeñas perturbaciones el resultado es un bosque irregular.

Dauber (2003) observó en un tratamiento según AFC que existe una mayor proporción de bosque remanente que se preserva, el cual queda compuesto con una mayor densidad de individuos próximos a la cortabilidad. Además se encuentran en la fase de crecimientos crecientes favorecidos por la reducción de la competencia producto del tratamiento (Figura 37).

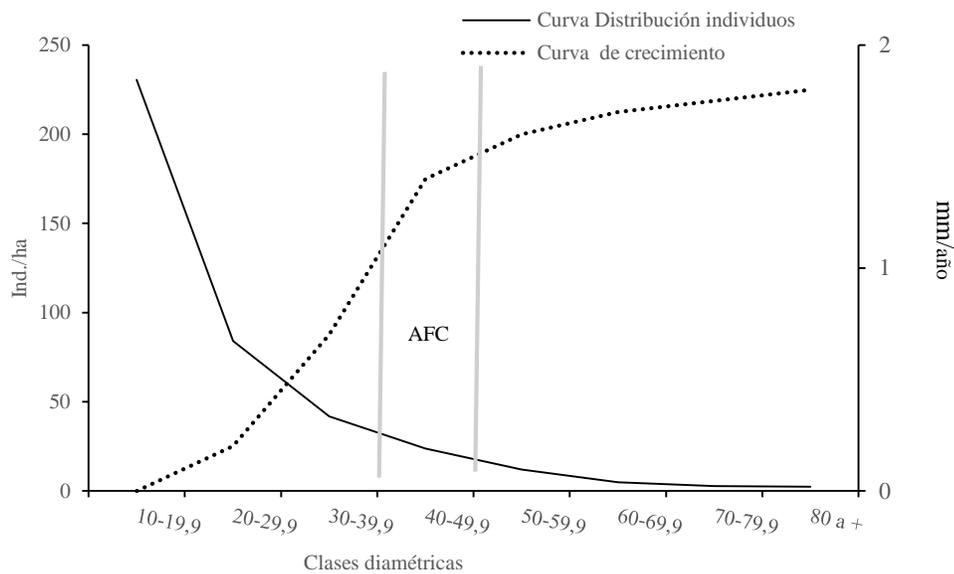


Figura 37. Distribución de los individuos por clase diamétrica y de los crecimientos por clase de diámetro (curva sigmoidea) en un tratamiento de AFC.

El Bosque Chaqueño de Jujuy, objeto de este estudio, es un bosque transicional con el pedemonte de Yungas donde dominan *S. Lorentzii*, *A. colubrina* y *P. excelsa*. Estas dos últimas especies son elementos compartidos de Yungas (Braun, 2001; Brown *et al.*, 2002; POP, 2007 y Humano *et al.*, 2012), esta situación adjudica que sean bosques con altos a medianos volúmenes de cosecha, además de ser estas especies de mediano crecimiento (Humano, 2013) lo que proporciona al bosque a una relativa rapidez en recuperar los volúmenes extraídos (en este trabajo apartado Resultados/Proyección del crecimiento y Producción).

De acuerdo con los resultados de este trabajo y los obtenidos por Brassiolo y Grulke (2015), estos bosques podrían ser aprovechados con ciclos de corta de 10 años aplicando el método de aprovechamiento AFC, el cual se puede combinar con el criterio de mantener la distribución irregular de los diámetros para asegurar la sostenibilidad del modelo de gestión. Complementariamente se debe planificar a priori el aprovechamiento para un ciclo de 10 a 15 años, promoviendo el crecimiento de los individuos de interés forestal a partir de un tratamiento de Liberación. Peri *et al.* (2018) han propuesto para el Bosque Chaqueño, un manejo irregular en forma policíclica de la masa arbórea manteniendo la estructura heterogénea del bosque nativo, cuya posibilidad de un aprovechamiento actual queda expresada por la cantidad de árboles comerciables maduros. Las prácticas para favorecer la regeneración,

las podas sanitarias, los raleos y el aprovechamiento de árboles maduros se realizan simultáneamente en una misma intervención, tomando como una referencia el mantenimiento de la distribución diamétrica de “J invertida”.

Con la información obtenida se pueden proponer pautas de manejo más apropiadas a este sistema subtropical semiárido, proyectar la distribución diamétrica, el área basimétrica y el volumen, proponer la duración de los ciclos de corta, definir los DMC adecuados a los crecimientos de las especies y los volúmenes máximos de extracción.

6.- Conclusiones

- ✓ La reducción de la densidad en bosques subtropicales semiáridos aumenta el crecimiento en bosques con intervenciones respecto de los que se mantienen sin perturbaciones.
- ✓ Los árboles de mayor diámetro que ocupan el piso superior son los que tienen los mayores crecimientos, ya sea que se trate de bosques intervenidos o sin intervención.
- ✓ El uso de modelos polinómicos para predecir el crecimiento y producción permite predecir el tiempo para que se alcancen los DMC, turnos de corta, producción actual y futura, lo cual es la básico para la toma de decisiones de gestión forestal.
- ✓ La variación del crecimiento inter e intraespecífico es tan amplia que deberían considerarse otros aspectos como la calidad de sitio para lograr un mejor ajuste de futuros modelos.

- ✓ Las especies forestales heliófilas poseen mayores crecimientos que las umbrófilas aunque las situaciones estructurales sean diferentes.
- ✓ Las especies de mayor crecimiento son *T. tipu*, *A. colubrina* y *P. excelsa* cuando se reduce el área basal.
- ✓ El ciclo de corta adecuado para una producción sostenida en el tiempo es de 24 años.
- ✓ Los disturbios que abren el dosel superior promueven una mayor diversidad, abundancia y tamaño de la regeneración natural.
- ✓ La apertura del dosel favorece especialmente la instalación de la regeneración de *S. lorentzii*, *A. colubrina*, *P. excelsa* y *C. paraguariensis*. La regeneración de *A. quebracho blanco* necesita de áreas sombreadas en el sotobosque para su instalación y crecimiento.
- ✓ La abundancia de la regeneración se relaciona inversamente con la cobertura arbórea y área basal del bosque.
- ✓ Existe una distribución más regular de tamaños de la regeneración en BI en comparación con BC.
- ✓ Los disturbios producen una regeneración natural agregada y en pulsos, conformada por especies heliófilas maderables. que posteriormente será afectada por procesos denso-dependientes como la competencia.
- ✓ En bosques conservados el patrón de distribución de la regeneración es aleatorio, está influenciado por la entrada de luz al sotobosque, la dispersión de semillas y en menor medida por el temperamento de las especies.

- ✓ El índice FCC demuestra que existe una correlación positiva entre la cobertura arbórea y el crecimiento. A mayor cobertura, menor espacio de crecimiento y mayor densidad para el inicio de la competencia.
- ✓ La incidencia de la competencia sobre el crecimiento es mayor en la vecindad (cantidad de individuos competidores) que en la proximidad de los competidores.
- ✓ La metodología aplicada y los índices utilizados son tanto explicativos como predictivos apropiados y necesarios como base para el manejo sostenible.
- ✓ El tipo de intervención influye directamente en la evolución de la estructura diamétrica y en consecuencia sobre el crecimiento y dinámica del bosque.
- ✓ El tratamiento de liberación estimula el crecimiento de las clases diamétricas intermedias y superiores aumentando el volumen aprovechable.
- ✓ Cuando se aprovecha el bosque según DMC, se necesitan 15 años para la recuperación del volumen y área basal extraídos por el lento crecimiento del bosque remanente.
- ✓ El aprovechamiento por DMC no es el más adecuado para este tipo de bosque por cuanto produce una notoria disminución de la abundancia y volumen de las especies maderables.
- ✓ El turno de corta para el método de AFC debe ser superior a 10 años para permitir la recuperación estructural del bosque.

RECOMENDACIONES

Es necesario continuar y profundizar los estudios sobre los siguientes aspectos:

.- Dar continuidad a los estudios de crecimiento en las parcelas permanentes durante tiempos mayores para tener más precisión en la información.

.- Incluir en los modelos otras variables que afectan el crecimiento arbóreo como la calidad de sitio, incidencia de las precipitaciones, efecto de la competencia.

.- Continuar evaluando el grado de recuperación estructural (dinámica sucesional) en el tiempo con diferentes tratamientos silviculturales.

.- Determinar las tasas mortalidad y reclutamiento, tanto de la masa adulta como de la regeneración natural.

.- Determinar si existe un banco de semillas del suelo, su profundidad, riqueza de especies, y otras variables de interés para el desarrollo de las nuevas plántulas, en especial de las especies de mayor valor.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abellanas, B.; Abellanas, M. y C. Vilas. 2007. "VOREST: Modelización de bosques mediante diagramas de Voronoi", Actas de los XII Encuentros de Geometría Computacional, Universidad de Valladolid. España. 8 p.
- Álvarez, M. F.; Barrios, M.; Gorgoso, J. y J. G. Álvarez. 2003. "Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don". Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12(2): 25-35.
- Araujo, P. A.; Juárez de Galíndez, M. y M. Iturre. 2007. "Crecimiento de las especies principales de un bosque en regeneración del Chaco Santiagueño". Quebracho 14: 36-46.
- Araujo, P.A. y M. C. Iturre. 2006. "Crecimiento y producción del rodal irregular". Serie didáctica n° 23. Facultad de Ciencias Forestales., Universidad Nacional de Santiago del Estero. 60 p.
- Araujo, P. A. 2003." Bases para la gestión sostenible de Bosques en Regeneración del Chaco Semiárido". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 219 p.
- Araujo, P. A. 1993. Idade relativa como subsidio á determinacao de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos. Tesis de M. Sc. Universidad Federal de Vicoca. Brazil. 119 p.
- Arroyo Padilla, L. 1995. "Estructura y composición de una isla de bosque y un bosque de galería en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado". Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz, Bolivia. 126 p.

- Ayarde, H. 1995. "Estructura de un sector de Selva Pedemontana. Reserva Fiscal Parque La Florida, Tucumán (Argentina)". *In*: Brown, A. D. y Grau, H. R. (eds). Investigación, conservación y desarrollo en Selvas subtropicales de montaña. p: 69-78. Ediciones LIEY. Argentina.
- Balducci, E.D.; Eliano, P.; Isa, H. y I. Sosa. 2012. "Bases para el manejo sostenible de los bosques nativos de Jujuy". Incotedes. Jujuy. 286 p.
- Barchuk, A.H.; Valiente-Banuet, A. y M. P. Díaz. 2005. "Effect of shrubs and seasonal variability of rainfall on the establishment of *Aspidosperma quebracho-blanco* in two edaphically contrasting environments". *Austral Ecology* 30: 695-705.
- Bascope, S. F. y Jorgensen, P. M. 2005. "Caracterización de un bosque montano húmedo: Yungas, La Paz". *Ecología en Bolivia* 40 (3): 365-379.
- Batista, J. L. y D. A. Maguire. 1998. "Modelling the spatial structure of tropical forest. *Forest Ecology and Management* 110: 293-314.
- Biloni, J. S. 1990. "Árboles autóctonos argentinos". Tipográfica Editora Argentina. Buenos Aires, Argentina. 335 p.
- Blundo, C. y Malizia, L. R. 2008. "Impacto del aprovechamiento forestal en la estructura y diversidad de la Selva Pedemontana". *In*: Brown, A. D., Blendinger, P y Lomáscolo, T. *Ecología, historia natural y conservación de la Selva Pedemontana de las Yungas Australes*. p.: 387–406. Ediciones del Subtrópico. Argentina.
- Boetto, M. 2011. "Mecanismos de regeneración y supervivencia de especies arbóreas nativas y el papel ecológico de las leñosas en un gradiente de déficit hídrico en la zona semiárida-árida argentina". Facultad de ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. 194 p.
- Bonino, E.E. y P. A. Araujo. 2005. "Structural differences between a primary and a remaining forest in the Argentine Dry Chaco and management implications". *Forest Ecology and Management* 206: 407–412.
- Braun Wilke, R. H. 2001. "Carta de Aptitud ambiental de la Provincia de Jujuy". Colección: Arte y Ciencia. Red de Editoriales Universitarias Nacionales. Jujuy. Argentina. 120 p.
- Brassiolo, M. y M. Grulke. 2015. "Manual de manejo de Bosque nativos de la Región Chaqueña. Redaf. Unique. 97 p.
- Brassiolo, M. M. y M. Abt. 2014. "Silvicultura en Bosques Nativos de la Región Chaqueña Argentina". *In*: Giménez, A. M. y G.I. Bolzón (Ed). *Educación e Investigación Forestal para un equilibrio vital*. Cooperación Binacional Argentina-Brasil. p: 77-109.

- Universidad Nacional de Santiago del Estero (Argentina) – Universidad Federal de Paraná (Brasil). Santiago del Estero, Argentina.
- Brassiolo, M. M. 2004. “Los Bosques del Chaco Semiárido- Propuestas para la conversión de bosques degradados”. IDIA XXI 7: 23 – 28.
- Brassiolo, M. M. y Pokorny, B. 2000. “Crecimiento de plantas jóvenes de quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis quebracho-colorado*)”. Quebracho 8: 64 – 69.
- Brienen, R., Zuldema, P. y Gómez, J. 2003. Recuperación del Volumen de madera bajo diferentes ciclos de corta: resultados de simulaciones para seis especies maderables en el norte de Bolivia. Programa Manejo de Bosques de la Amazonia Boliviana. Informe técnico nº 9. Riberalta. Beni, Bolivia. 24 p.
- Brown, A. D. y Malizia, L.R. 2004. “Las Selvas Pedemontanas de las Yungas: en el umbral de la extinción”. Ciencia Hoy 14: 52-63.
- Brown, A. D.; Grau, A.; Lomáscolo, T. y N. I. Gasparri. 2002. “Una estrategia de conservación para las Selvas subtropicales de montaña (Yungas) de Argentina”. Ecotrópicos 15: 147-159.
- Buitrago, G. L. 2002. “El clima de la Provincia de Jujuy”. Editorial Unju. Jujuy, Argentina. 72 p.
- Burkes, E.; Will, R.; Barron, G.; Teskey, R. y Barry, S. 2003. “Biomass partitioning and growth efficiency of intensively managed *Pinustaeda* and *Pinuselliottii* stand of different planting densities”. Forest Scientist 47 (2): 224-234.
- Cabrera, A. L. 1976. Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería. Regiones fitogeográficas Argentinas. Fascículo 1. Editorial Acme. Bs. As, Argentina. 85 p.
- Carrazana, C.; Peri, P. y M. Navall. 2019. “Manual de indicadores para el Monitoreo de Planes Pediales MBGI-Región Parque Chaqueño”. INTA. Santiago del Estero. 84 p.
- Cellini, J. M. 2010.” Estructura y regeneración bajo distintas propuestas de manejo de bosques de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser en Tierra del Fuego, Argentina”. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. 145 p.
- Condit, R.; Ashton, P. S.; Baker, P.; Bunyavejchewin, S. y S. Gunatilleke. 2000. “Spatial pattern in the distribution of tropical tree species”. Science 288: 1414-1418.
- Colwell, R. K. y J. A. Coddington. 1994. “Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation Philosophical Transactions”. Biological Sciences 345 (1311): 101-118.
- Chauchard, L.; Sbrancia, R.; González, P.M.; Maresca, L.; Rabino, A. y M. Mazzuchelli. 2001. “Aplicación de leyes fundamentales de la densidad a bosques de *Nothofagus*: II. Línea de inicio de competencia y diagramas de manejo de la densidad”. Bosque 22 (1): 3-10.

- Daniels, R. F. 1976. "Simple Competition Indices and their Correlation with Annual Loblolly Pine Tree Growth". *Forest Science* 22(4): 454-456.
- Dauber, E. 2003. "Modelo de simulación para evaluar las posibilidades de cosecha en el primer y segundo ciclo de corta en bosques tropicales de Bolivia". Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. Documento Técnico 128. Bolfor. Bolivia. 42 p.
- Davis, P.K. 1966. „Forest management: regulation and valuation“. 2ª Ed. New York, Mc Graw-Hill Book. 519 p.
- Del Castillo, E. M. 2005. "Selva de Yungas del NOA (Jujuy, Salta, Tucumán). Recuperación ambiental y productiva". 1º Ed. INTA. Jujuy, Argentina. 48 p.
- De Noir, A. F.; Bravo, S. y R. Abdala. 2002. "Mecanismos de dispersión de algunas especies de leñosas nativas del Chaco Occidental y Serrano". *Quebracho* 9: 140-150.
- Digilio, A.P. y Legname, P.R. 1966. "Los árboles indígenas de la Provincia de Tucumán". *Opera Lilloana* 15. Tucumán, Argentina. 130 p.
- Diggle, P.J. 2003. "Statistical analysis of spatial point pattern". Second edition. Academic Press. Londres. 168 p.
- Dimitri, M. J.; Leonardis, R. F. J. y J. L. Biloni. 2000. "El nuevo libro del árbol". Tomos I y II. Editorial El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. 124 p.
- Eibl, B.; Montagnini, F.; Woodward, Ch.; Szczipanki, L. y R. Rios. 1995. "Evolución de la regeneración natural en dos sistemas de aprovechamiento y Bosque no perturbado de la provincia de Misiones-Argentina". *Yvyrareta* 7: 63-78.
- Eliano, P; Malizia, L. R. y C. Badinier. 2009. "Manejo Forestal Sustentable en Yungas. Protocolo para el desarrollo de un plan de manejo forestal e implementación en una finca piloto". Fundación ProYungas. Ediciones del Subtropico. Jujuy, Argentina. 133 p.
- FAO 1994. "El desafío de la ordenación forestal sostenible. Perspectivas de la silvicultura mundial". Roma. 120 p.
- Fredericksen, T. 2003. "Ciclos de Corta en Bosques Tropicales de Bolivia: Opciones basadas en investigación sobre Manejo Forestal Santa Cruz de la Sierra, Bolivia". Trad. D Nash. BOLFOR. Bolivia. 27 p.
- Finol, U. H. 1971. „Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de la Selvas vírgenes tropicales“. *Revista Forestal Venezolana* 14 (21): 29 - 42.
- Fonseca, K. y L. Vasquéz. 1999. "Restauración de la cobertura vegetal en la Reserva Forestal Monte Alto, Hojanca, Guanacaste". Tesis Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en desarrollo forestal. Universidad Nacional de Costa Rica. 98 p.

- Gadow, K. V.; Orois, S. S. y J. G. A. González. 2007. "Estructura y Crecimiento del Bosque". Universidad de Göttingen, Alemania. 287.
- García, F. 2010. "Evolución de la ganancia de peso y producción de carne por hectárea en sistema agrosilvopastoril". Actas Jornada técnica del Noa: Sistemas Silvopastoriles. Facultad de Ciencias Agrarias. Jujuy. Argentina. 134 p.
- Gauto, A. O.; Grance, L. A.; Maiocco, D. C. y A. Figueiredo Filho. 1997. "Análise da dinâmica y da exploracao sobre o estoque remanescente (por especies e por grupo de especies similares) de uma floresta estacional semidecidual em Missiones". Tesis de Maestría. Universidad Federal do Paraná. Curitiba. Brasil. 133 p.
- Gauto, A.O.; Grance, L. A.; Maiocco, D.C. y A. Figueiredo Filho. 1996. "Crecimiento de la masa de bosque nativo en la reserva forestal Guaraní (Misiones)". *Yvyretá* 7: 5-10.
- Glass, G. y J. Stanley. 1988. "Métodos estadísticos aplicados a las Ciencias Sociales". Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.. México. 597 p.
- Giménez, A. M; Hernández, P.; Ríos, N. y F. Calatayu. 2013. "Crecimiento de árboles individuales de *Geoffreea decorticans* Burk., en un bosque del Chaco semiárido, Argentina". *Madera y Bosques* 19 (1):37-51.
- Giménez, A. M. y P. Hernández. 2008. "Biodiversidad en ambientes naturales del Chaco Argentino-Vegetación del Chaco Semiárido Provincia de Santiago del Estero". Fascículo 1. Facultad de Ciencias Forestales. Editorial Lucrecia. 110 p.
- Giménez, A. M. y N. Ríos. 1999. "Crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer, Anacardiaceae". *Madera y Bosques* 5 (2): 35-51.
- Guía para la formulación de Planes de Manejo Forestales Sostenible de los Bosques Nativos en la Provincia de Jujuy (GMSJ). 2010. Proyecto Piloto: Ley 26.331. Secretaría de Recursos Naturales. Ministerio de Producción y Medio Ambiente. Cartilla de Divulgación. Jujuy, Argentina. 125 p.
- Gómez, A. L.; Avila, J. M. y L. Cayuela. 2013. "Métodos de máxima verosimilitud en ecología y su aplicación en modelos de vecindad". *Ecosistemas* 22(3):12-20.
- Gómez, C.; Brassiolo, M.; Kees, S. y A. Guzmán. 2012. "Efectos de diferentes intensidades y métodos de corta sobre la regeneración del Bosque Alto del Chaco Húmedo". *Quebracho* 20 (2): 60-67.

- Gómez, C.; Brassiolo, M.; Kees, S. y A. Guzmán. 2009. "Daños Producidos en la Regeneración Natural Arbórea Bajo Pastoreo en el Chaco Húmedo". Actas XX Reunión de comunicaciones Científicas y Técnicas y de Extensión de la UNNE. Corrientes. 123 p.
- Gómez, J. W. 2011. "Regeneración natural de nueve especies maderables en un bosque intervenido de la Amazonia Boliviana". Acta Amazónica 41(1): 135 – 142.
- Grau, H. R. 2000. "Regeneration patterns of *Cedrela lilloi* (Meliaceae) in northwestern Argentina subtropical montane forests". Journal of Tropical Ecology 16: 227-242.
- Grulke, M.; Pérez, M.V.; Sisitiaga L. y M. Brassiolo. 2012. "Prácticas forestales en los bosques nativos de la República Argentina Ecorregión Forestal de Selva Tucumano Boliviana". Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable Proyecto Manejo Sustentable de los Recursos Naturales (BIRF 7520-AR – PNUD 08/008) Componente Bosques Nativos y su Biodiversidad. Argentina. 158 p.
- Grulke, M.; Brassiolo, M.; Diaz Lanes; F.; Obst K.; Ortíz, G.y G. Soto. 2007. "Manual para el manejo forestal sustentable de los bosques nativos de la Provincia del Chaco". Ministerio de la Producción del Gobierno de la Provincia del Chaco. Argentina. 113 p.
- Gutiérrez J.V.; Godoy J.C.1 y A. Ortín Vujovich. 2019. "*Anadenanthera colubrina* Vell. Brenan: análisis del crecimiento mediante la identificación de anillos anuales". Actas XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, El Dorado. Misiones. 722 p.
- Guzmán-Gutiérrez, R. A. 2001. Clasificación de especies forestales en gremios ecológicos en el Bosque Seco de Lomerío, Santa Cruz, Bolivia. In: Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (eds.) Regeneración y Silvicultura de Bosques tropicales de Bolivia. p.: 79-97. BOLFOR. Bolivia.
- Haase, P. 1995. "Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K-Function: Introduction and methods of edge correction". Journal of vegetation science 6: 575-582.
- Hampel H. y C. A. Gómez. 1997. Dinámica de bosque del Chaco húmedo. Propuestas de manejo - un ejemplo de intervención silvícola. Documentación para el taller "Red Agroforestal Chaco". Santiago del Estero. 22 p.
- Hampel, H. 1995. "Estudio de la Estructura y Dinámica de Bosques Naturales del Chaco Húmedo. Investigación de los Bosques Tropicales". Conjunto de artículos :3-21.
- Hegyí, F. 1974. "A simulation model for managing jack-pine stands. In: J. Fries (Editor), Growth Models for Tree and Stand Simulation". Royal College of Forestry p.: 74-90.
- Hernández, R. J.; J. García, M.; Muñoz F. H.; García, C. X.; Sáenz, R. T.; Flores, L. C. y A. Hernández. 2013. "Guía de densidad para manejo de bosques Naturales de Pinus

- teocote schlecht. Et cham. en Hidalgo”. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (19) 62-77.
- Humano, C. A.; Solís J. M. y A. G. Durán. 2015. Innovación y transferencia de Tecnología aplicada en plantaciones forestales en macizo de *Pterogyne nitens* (tipa colorada) destinada a madera de calidad. *In: Investigación Forestal-Los proyectos de investigación aplicada 2011-2015*. p.: 194-197. Unidad del Cambio Rural (UCAR). Ministerio de Agricultura, ganadería y Pesca. Argentina.
- Humano, C. A. 2014. “Crecimiento de plantaciones forestales de especies nativas del Chaco Semiárido de Jujuy, Argentina”. *Yvyrareta* 21: 23-29.
- Humano C. A. 2013. “Modelado de la dinámica y producción forestal de la Selva Pedemontana de Yungas, Argentina”. Tesis de Maestría Recursos naturales. UBA. Argentina. 159 p.
- Humano C, Durán A., Gaspar S. y C. G. Giulianotti. 2013. “Crecimiento de especies nativas de un rodal con y sin manejo del ecotono Yungas-Chaco semiárido de Jujuy, Argentina”. *Agraria*. VII (14): 56-68.
- Humano, C; Giulianotti, C.G.; Duran, A. y Gaspar, S. 2012.” Composición, Estructura y Diversidad arbórea de un rodal disetáneo característico del ecotono Yungas-Bosque Chaqueño semiárido, de la provincia en Jujuy-Argentina”. *Agraria* VI (13): 84-90.
- Hutchinson, I.D. y F. Wadsworth. 2006. “Efectos de la liberación en un bosque secundario de Costa Rica.” *Recursos Naturales y Ambiente* 46, 155–160.
- Ibáñez, B. M.; Ávila, J. M.; Gómez Aparicio, L.; Pozuelos Rojas, A.; Gutiérrez, E.; García, L. y T. Marañón. 2012. “Dinámicas de vecindad y regeneración del bosque”. *Almoraima* 43: 28-52.
- INTA. 2008. “Plan Tecnológico Regional 2009-2011”. Centro Regional Salta-Jujuy. Argentina. 122 p.
- Iturre, M. C.; Araujo P. A. y C. J. Trejo. “Simulación del crecimiento de bosques nativos del Chaco Semiárido. Aplicación del sistema informático MOSIMAFO”. *Quebracho* 25 (1,2): 54-62.
- Juárez de Galindez M.; Giménez, A. M.; Ríos, N. y M. Balzarini. 2006. “Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos”. *Quebracho* 12: 34-42.
- Kees, S. M.; Merletti, J. G.; Gómez, C. A. y M. Brassiolo. 2018. “Efectos de la corta sobre un bosque alto del Chaco Húmedo”. *Actas de la XXVIII Reunión Argentina de Ecología*. Mar del Plata. 719 p.

- Krajicek, J., Brinkman, K. y S. Ginrich. 1961. "Crown competition - A Measure of Density", *Forest Science* 7 (1):35-42.
- Kunst, C., Ledesma, R. y M. Navall. 2008. "RBI: Rolado Selectivo de Baja Intensidad". Ediciones INTA. 139 p.
- Lamprecht, H. 1990. "Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas". GTZ. Alemania. 335 p.
- Leak, W.B. 1964. "An expresion of diameter distribution for unbalanced uneve-aged stands and forest". *Forest Science* 10 (1): 39 -50.
- Legname, P.R. 1982. "Árboles indígenas del Noroeste Argentino". Opera Lilloana 34. Tucumán, Argentina. 142 p.
- Lencinas, V. M.; Pastur, M. G. y P. Peri. 1998. "Patrones de espaciamiento en bosques de Lengua de tierra del fuego". Actas Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia (Chile). 198 p.
- Linares, R. 1997. "Caracterización del Bosque de Cativo (*Prioria copaifera*) en dos estados sucesionales: climax y 21 años post-aprovechamiento". Simposio Internacional "Posibilidades de manejo Forestal Sostenible en América Tropical. BOLFOR, CIFOR, IUFRO. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 384 p.
- López, L.; Villalba, R. y M. Peña-Claros. 2012. "Ritmos de crecimiento diamétrico en los bosques secos tropicales: aportes al manejo sostenible de los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano". *Bosque* 33 (2): 211-219.
- Louman, B.; Quiroz, D. y M. Nilsson. 2001. "Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central". Serie técnica, Manual técnico 46. Cartago, Costa Rica. 252 p.
- Mackay, E. 1961. "Fundamentos y métodos de la Ordenación de Montes". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Segunda Edición. Madrid. España. 768 p.
- Manejo sustentable de ecosistemas forestales de la cuenca Los Pericos – Manantiales. Informe diagnostico (MSPM). 2003. Bosque Modelo Jujuy. Proyecto FAO - TCP/ARG/2902 (A). Jujuy-Argentina. 204 p.
- Marañón, T.; Camarero, J.J.; Castro, J.; Díaz, M.; Espelta, J.M.; Hampe, A.; Jordano, P.; Valladares, F.; Verdú, M. y R. Zamora. 2004. "Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración". In: F. Valladares (Ed.) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 45 p.

- Martínez Pastur, G., Lencinas, M. V., Vukasovic, R.; Peri, P.; Díaz, B. y J. M. Cellini. 2004. Turno de corta y posibilidad de los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego (Argentina). *Bosque*, 25 (1): 29-42.
- Martínez Pastur, G.; Cellini, J. M.; Lencinas, M. V.; Vukasovic, R.; Vicente, R.; Bertolami, F. y J. Giunchi. 2001. "Modificación del crecimiento y de la calidad de fustes en un raleo fuerte de un rodal en fase de crecimiento óptimo inicial de *Nothofagus pumilio*". *Ecología Austral* 11: 95-104.
- Mateucci, S.D. y Colma, A. 1982. "Metodología para el estudio de la vegetación". Monografía Científica N° 22. Serie de Biología, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC. USA. 165 p.
- Mendoza, Z. A.; Abad, N. L.; Herrera, B. y N. A. Mendoza. 2013. "Dinámica de crecimiento de 29 especies forestales en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador". *CEDAMAZ* 3 (1): 54-65.
- Meza, V; Mora, F; Chaves, E. y W. Fonseca. 2003. "Crecimiento y edad del bosque natural con y sin manejo en el Trópico húmedo de Costa Rica". Primer Congreso Forestal sobre silvicultura del bosque húmedo. INISEFOR-UNA. Heredia, Costa Rica. 310 p.
- Meyer, A. H.; Recknagel, A. B.; Stevenson, D. D. y R. A. Bartoo. 1961. "Forest Management". Segunda Edición. The Ronald Press Company. New York. 282 p.
- Moreno, C. 2001. "Métodos para medir la biodiversidad". Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa. Serie Manuales y Tesis SEA. 84 p.
- Mostacedo, B. y T. S. Fredericksen. 2000. "Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal". Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. BOLFOR. Santa Cruz. Bolivia. 92 p.
- Munro, D. D. 1974. "Forest growth models: a prognosis, in Growth Models for Tree and Stand Simulation". In: J. Fries (Ed.) Royal College of Forestry Stockholm. Suecia. 241 p..
- Nadir, A. y Chafatinos, T. 1990. "Los suelos del NOA (Salta y Jujuy)". Tomo 1. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. 97 p.
- Navall, M. 2012. "Efectos del rolado y la corta sobre el crecimiento de un quebrachal semiárido Santiagueño". Actas II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero. Argentina. 734 p.

- Navall, M. 2006. "Que el renoval tape el árbol, que el árbol no tape el bosque". *In: Memoria Técnica de la Primera Jornada de Actualización Técnica en el control y manejo del Renoval*. CREA/INTA/Soc. Rural de Frias. Frias. Santiago del Estero. 135 p.
- Newton, P.F. 1987. "Development of a Stand Density Management Model for Pure Black Spruce Forests Types Within Central Newfoundland. I. Applicability of the Self -thinning Rule". Forest Service. Forest Growth Modeling and Prediction, General Technical Report. NC-120, 1: 604-610.
- Norman, G. y D. Streiner. 1996. "Bioestadística".. Editorial Mosby/Doyma Libro S.A. Madrid. España. 260 p.
- Organización de las naciones Unidas (ONU). 2020. El estado de los Bosques del Mundo. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. Italy. 224 p.
- Orozco Vilchez, L. 1991." Estudio ecológico y estructural de seis comunidades boscosas de la parte noroeste de la Cordillera de Talamanca". Tesis de Lic. UNA. Heredia, Costa Rica.145 p.
- Pariona, W. 2001. "Regeneración natural después del aprovechamiento forestal en fajas en un Bosque tropical de Bolivia". *In: B. Mostacedo y T. S. Fredericks (Eds.) Regeneración y Silvicultura de Bosques tropicales de Bolivia*. p.: 185-204. BOLFOR. Bolivia.
- Peri, P.; Fermani, S.; Mónaco, M.; Rosales, V.; Franco Díaz (5); Collado, L.; Torres, S.; Ceballos, E.; Soupet, J; Perdomo, M.; Castelló, A.; Antequera, S.; Navall, M.; Tomanek, E.; Colomb, H. Y M. Borrás. 2018. " Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (Mbgi) en Argentina. Actas. IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles". Inta. Bariloche. Neuquen. 749 p.
- Pinazo, M.A. y Gasparri, N. I. 2003. "Cambios estructurales causados por el aprovechamiento selectivo en el Bosque Montano del norte de Salta, Argentina". *Ecología Austral* 13: 160-172.
- Pinazo, M.; Moscovich, F.; Dummel, C. y O. Knebel. 2010. "Patrón espacial de la regeneracion de especies arbóreas comerciales en un sector aprovechado de la Selva Paranaense". 14° Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM. Misiones, Argentina. 259 p.
- Plan de Ordenamiento Predial Severino (POP). 2012. Del Campo Experimental "Dr. Emilio Navea" Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Jujuy. Secretaria de Gestión Ambiental. Jujuy. Inédito. 45 p.

- Quiñones, A. A. 2013. "Influencia de la competencia en el crecimiento en los bosques del sur de Nuevo León, México". Seminario de posgrado. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. 10 p.
- Raventós, J.; Vayreda, J.; Calvet1, S.; Burriel, J. A.; Ibañez, J. J. y C.A. Gracia. 1993. "Modelos espaciales de competencia intraespecífica en *Pinus sylvestris* y su relación con variables ecofisiológicas". Congreso Forestal Español. Ponencias y comunicaciones (1): 283-290.
- Resolución 081 (Resol. 81). 2009. Secretaría de Gestión Ambiental. Ministerio de Producción y Medio Ambiente. Jujuy. Argentina. 24 p.
- Reyes-Muñoz, J. L.; Aguirre-Calderón, O. A.; Jiménez-Pérez, J.; Treviño-Garza, E. J.; Jurado, E. y R. F. González-Laredo. 2011. "Modelos de predicción del incremento en volumen para bosques mezclados del estado de Durango, México". Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17 (1): 103-113.
- Rojas, A. M. 1970. "Efecto del Raleo sobre el crecimiento en AB de un bosque secundario del trópico Húmedo". Tesis de maestría. CATIE. Costa Rica. 88 p.
- Rozas, V. 2002. "Estructura y patrones de regeneración del roble y el haya en un bosque maduro del litoral occidental de Cantabria". Invest. Agr.: Sist. Rec. For. 11(1), 107-136
- Romano, N. 2007. "Diferencias entre composición y estructura forestal en dos sitios de Selva de montaña en Salta, Argentina". Tesina de grado. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. 108 p.
- Saravia Toledo, C. J. 1999. "Impactos antrópicos en el Chaco Occidental, con especial referencia a humedales". Resúmenes de la I Reunión Internacional Sobre Biodiversidad Iberoamericana: El Chaco y las Sabanas Inundables. Pamplona. España. 286 p.
- Secretaría de estado de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Jujuy (SEAGJ). 1995. "Características naturales, agrícolas, ganaderas y forestales de la Provincia de Jujuy". Dirección de Recursos Naturales y Renovables. Jujuy. Argentina. 53 p.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS). 2005. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Informe Regional Selva Tucumano Boliviana. Proyecto bosques nativos y áreas protegidas. Préstamo BIRF 4085-AR. Argentina. 126 p.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDSCh). 2005. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Informe Regional Parque Chaqueño. Proyecto bosques nativos y áreas protegidas. Préstamo BIRF 4085-AR. Argentina. 135 p

- Secretaría de Gestión Ambiental de la Provincia de Jujuy (SGAJ). 2012. "Bases para el manejo sostenible de los Bosques Nativos de Jujuy". Fundación ProYungas. Incotedes. Gobierno de la Provincia de Jujuy. Jujuy. Argentina. 212 p.
- Silvertown, J. M. y J. Lovett-Doust. 1993. Introduction to plant population biology. Blackwell scientific Publications. Oxford. GB. 210 p.
- Souza, A.L. y R. Jesus. (1989) Distribuição diamétrica de espécies arbóreas da Floresta Atlântica: análise de agrupamento. Sociedade de Investigações Florestais. Boletim Técnico manejo Florestal Nº 10. Viçosa. 20 p.
- Souza, A.L. y C. P. Soares. 2013. Florestas Nativas. Estrutura, Dinâmica e Manejo. Editorial UVF. 322 p.
- Staebler G. R. 1951. "Growth an spacing in an even-aged stand of Douglas – fir". Master's thesis, Univ. of Michigan. USA. 156 p.
- Stoyan, D. y H. Stoyan. 1994. "Fractals, random shapes and point fields. Methods of geometrical statistics." Wiley, London, UK. 406 p.
- Tálamo, A. y S. Caziani. 2003. "Variation in woody vegetation among sites with different disturbance histories in the Argentine Chaco". Forest ecology and management 184: 79-92.
- Terán C. J, y C. M. Marañón. 2001. "Regeneración de Especies Maderables en el Bosque Tucumano – Boliviano". In: B. Mostacedo y T. S. Fredericksen (Eds.). Regeneración y Silvicultura de Bosques tropicales de Bolivia. p.: 119-138. BOLFOR. Bolivia.
- Torres Rojo, J. M. 2000. "Sostenibilidad del volumen de cosecha calculado con el método mejicano de ordenación de montes". Toluca. México. Maderas y Bosques 6 (2): 57-72.
- Uslar, Y. V; Mostacedo, B. y M. Saldías. 2004. "Composición, Estructura y Dinámica de un Bosque Seco Semideciduo en Santa Cruz, Bolivia". Ecología en Bolivia 39 (1): 25-43.
- Valentini, J. A. y C. R. Lombardi. 1973. "Sobre el posible manejo de los bosques del noreste argentino, por el método de corta por aclareos sucesivos con repoblación por siembra directa". Boletín Nº 43, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, Merida, Venezuela. 10 p.
- Vázquez Yanes, C. y Orozco Segovia A. 1992. "El Bosque Lluvioso en América Tropical: Dinámica Forestal, Reforestación, Manipulación de las Semillas y Problemas de Manejo". Journal Tree planter's notes 2: 119-124.

- Villarroel, C. M y M. M. Stuken. 1996. "Modelos de estimación de la competencia y mortalidad individual para renovales de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb)(Oerst)) y raulí (*Nothofagus alpina*) (Poepp et Endl)". *Ciencia e Investigación Forestal* 10 (2): 3-16.
- Villegas, Z.; Bonifacio, M; Toledo, M ; Leño, C.; Licouna, J.; Alarcón, A.; Vroomans, V. y M. Claros. 2008. "Ecología y manejo de los Bosque tropicales del bajo Paraguá Bolivia". Instituto Boliviano de Investigación Forestal. 161 p.
- Wadsworth, F. H. y J. C. Zweede. 2006. "Liberation: Acceptable production of tropical forest timber". *Forest Ecology and Management* 233: 45-51.
- Wadsworth, F. H. 2000. "Producción forestal para América tropical. Servicio Forestal". Manual de agricultura 710-S. USDA. Washington DC. 6 p.
- Wellenbeck, V. A. 2007. Evaluating Site Quality in Subtropical Montane Forests in North Western Argentina. Master Thesis. Georg-August-Universität Göttingen. Alemania. 107 p.
- Wenzel, M. y H. Hermann. 1998." Regeneración de las principales especies arbóreas del Chaco Húmedo Argentino". *Quebracho* 6: 5-18.
- Wiegand, T. y Moloney, K. A. 2004. "Rings, circles, and null models for point pattern analysis in ecology". *Oikos* 104: 209-229.
- Zenteno-Ruiz, F.S. y R. P. López. 2010. "Composición, estructura y patrón espacial de un bosque tucumano-boliviano en el departamento de Tarija (Bolivia)." *Darwiniana* 48: 32-44.