



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE LA PROYECCIÓN DE VOLUMEN Y ESTRUCTURA DIAMÉTRICA EN UN BOSQUE NATIVO DEL CHACO HÚMEDO BAJO DOS MÉTODOS DE SELECCIÓN

Analysis of volumen and diameter structure projection in a native forest of the humid chaco under two silvicultural selection methods

Kees, Sebastián M.¹ ; Michela, Julio F.² ; Peri, Pablo L.³

¹ Campo Anexo Estación Forestal Plaza – INTA EEA Sáenz Peña – Lote IV- Colonia Santa Elena (3536) – Presidencia de la Plaza. Chaco. Argentina.

² INTA-EEA Santiago del Estero. Jujuy 850 (4200) Capital. Santiago del Estero, Argentina.

³ EEA Santa Cruz. INTA; Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA); CONICET.

Email: kees.sebastian@inta.gob.ar

RESUMEN

La proyección de la estructura diamétrica es clave para el manejo forestal sostenible, ya que permite analizar la evolución de la densidad, el área basal y el volumen luego de intervenciones silvícolas. Este trabajo analizó la proyección de la estructura diamétrica y del volumen de un bosque nativo del Chaco Húmedo intervenido mediante dos métodos de selección: el Método de la Masa (MM) y el Método del Árbol Futuro (MAF). El análisis se efectuó para un horizonte de diez años (2022–2032) mediante la aplicación de la Razón de Movimiento, utilizando datos censales, modelos de incremento diamétrico y tasas de reclutamiento, y mortalidad específicas del sitio. Los resultados muestran que el MAF concentra el crecimiento en clases diamétricas bajas e intermedias, con incrementos aproximados del 17% en densidad y del 12% en área basal y volumen, favoreciendo la formación de capital forestal futuro. En contraste, el MM presentó incrementos cercanos al 22% en densidad y al 13% en área basal y volumen, con mayor aporte en clases próximas a los diámetros mínimos de corta, incrementando la posibilidad de cosecha hasta un 32%, frente a valores próximos al 20% en el MAF. Esto permite valorar la Razón de Movimiento operativamente.

Palabras clave: razón de movimiento, producción, bosque alto, crecimiento.

ABSTRACT

The projection of diameter-class structure is fundamental to sustainable forest management, as it enables the analysis of changes in stand density, basal area, and volume following silvicultural interventions. This study analyzed the projection of diameter-class structure and volume in a native forest of the Humid Chaco managed under two selection systems: the Mass Method (MM) and the Future Tree Method (MAF). The analysis was conducted over a ten-year period (2022–2032) using the Movement Ratio approach, based on forest inventory data, diameter increment models, and site-specific recruitment and mortality rates. The results showed that MAF concentrates growth in the lower and intermediate diameter classes, resulting in approximate increases of 17% in stand density and 12% in basal area and volume, thereby promoting the development of future growing stock. In contrast, MM exhibited increases of approximately 22% in stand density and 13% in basal area and volume, with greater contributions in diameter classes close to the minimum harvest diameter, increasing harvest potential by up to 32%, compared with values of approximately 20% under MAF. These results demonstrate the practical applicability of the Movement Ratio as an operational tool for forest management.

Key words: Movement ratio, production, high forest, growth.



INTRODUCCIÓN

Según el 2° Inventario Nacional de Bosques Nativos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020), la región del Parque Chaqueño representa uno de los núcleos forestales más extensos del país, con una superficie estimada de 31.945.135 hectáreas, equivalente al 67 % de los bosques nativos de Argentina. En este territorio, la provincia del Chaco concentra una proporción significativa de cobertura forestal, especialmente en la ecorregión chaqueña semiárida, donde se registran 3.244.866 hectáreas de bosques continuos. En contraste, la ecorregión húmeda del Chaco presenta una configuración más fragmentada, con aproximadamente 1.794.234 hectáreas, lo que evidencia diferentes patrones de distribución espacial y, por ende, distintos desafíos de manejo.

En este marco, numerosos autores destacan la necesidad de avanzar hacia enfoques de manejo más precisos y contextualizados. Martínez Pastur et al. (2021) subrayan la importancia de desarrollar una silvicultura de precisión capaz de adaptarse a las particularidades ecológicas y productivas de cada región, ofreciendo suficiente flexibilidad para responder a una amplia variedad de escenarios tanto en el corto como en el largo plazo. Este tipo de enfoque contribuiría a formular recomendaciones diferenciadas de manejo y conservación a escalas regional, provincial o zonal, ajustadas a los ecosistemas involucrados. En este sentido, la evaluación de los recursos forestales debe considerar no solo su utilidad maderable, sino también la diversidad de bienes y servicios ecosistémicos que aportan (Ramírez y Torres, 1985). La adecuada comprensión de las dinámicas de las masas forestales constituye un componente fundamental para su manejo y planificación (Cabrera et al., 2014). Asimismo, la construcción e implementación del manejo forestal sustentable requiere procesos reiterativos e interactivos, especialmente cuando se parte de masas degradadas por sobreexplotación, situación que demanda esfuerzos prolongados para avanzar hacia condiciones compatibles con la sustentabilidad (Grulke et al., 2007). No obstante, las propuestas de manejo contemporáneas deben analizarse considerando múltiples aspectos estructurales y temporales, evaluando períodos comparables a los ciclos de corta teóricos propuestos para los bosques del Chaco húmedo, con el fin de determinar el sistema de manejo más adecuado para cada contexto (Peri et al., 2021).

En relación con la necesidad de entender los cambios estructurales de los bosques, Scolforo et al. (1996) enfatizan que, además de analizar su estructura y dinámica, es esencial conocer el ciclo de corta y la evolución temporal del número de árboles por clase diamétrica. Asimismo, Schneider y Finger (2000) destacan la importancia de determinar tasas de corta sostenibles y de realizar evaluaciones rigurosas de la estructura forestal como base del manejo en bosques naturales. Esta información permite calcular adecuadamente parámetros clave como el volumen, el área basal y el propio ciclo de corta, cuyos cambios pueden estimarse a partir de variaciones en la frecuencia de individuos entre clases diamétricas, así como mediante la mortalidad y el reclutamiento (Sanquetta et al., 1996). Aunque prever con exactitud la evolución futura de un bosque nativo es imposible debido a su dinámica intensa, inestable y fuertemente condicionada por factores ambientales, esto no impide la realización de proyecciones sobre su desarrollo, en particular respecto al crecimiento arbóreo (Husch et al., 1982; Scolforo, 1998). En este contexto, la razón de movimiento constituye un modelo de gran relevancia para la prognosis forestal, dado que permite estimar la proporción de árboles que avanzan hacia clases superiores de diámetro, bajo el supuesto de que la distribución diamétrica es uniforme dentro de cada clase y utilizando como base el incremento medio en diámetro (Scolforo, 1998). Por otro lado, diversos autores coinciden en que la silvicultura moderna se orienta hacia esquemas de producción intensiva y de alta precisión, sustentados en la integración de técnicas avanzadas de manejo del suelo —como la preparación física, el manejo biológico y la nutrición—, en el uso de material genético mejorado y en la adopción de buenas prácticas de manejo (Abdelnour et al., 2011; Alvarado, 2016; Murillo et al., 2016). No obstante, para garantizar una gestión eficaz, la comprensión de las dinámicas forestales debe complementarse con evaluaciones cuantitativas basadas en variables dasométricas y en el análisis de sus relaciones a lo largo del tiempo, dado que los inventarios estrictamente cualitativos resultan insuficientes (Cabrera et al., 2014).

La evaluación de cómo varía el número de árboles por clase de diámetro a lo largo del tiempo es fundamental para el manejo forestal, ya que permite estimar volumen, área basal y definir ciclos de corte, en este sentido el uso de modelos de producción y prognosis que analizan la estructura diamétrica del bosque brindan apoyo para la toma de decisiones de aprovechamiento, garantizando la sostenibilidad de los recursos en ecosistemas tropicales. Estas herramientas permiten identificar el momento en que el bosque recupera su stock tras la explotación y proyectar la producción futura a partir de las condiciones actuales (Lana et al., 2015; Scolforo, 1998; Vasconcelos et al., 2009; Machado et al., 2017; Oliveira et al., 2020; Chassot et al., 2011).

En este contexto general, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la proyección de la estructura diamétrica y del volumen de un bosque nativo del Chaco húmedo intervenido mediante dos métodos silvícolas de selección, utilizando la Razón de Movimiento como herramienta de pronosis forestal.

Específicamente, se propone: a) Analizar, para un período de 10 años (2022–2032), la evolución del número de individuos por clase diamétrica, el área basal y el volumen del rodal bajo cada método de selección. b) Comparar los patrones de redistribución diamétrica resultantes de la aplicación del Método de la Masa (MM) y del Método del Árbol Futuro (MAF), identificando diferencias estructurales y productivas. c) Cuantificar las variaciones en la posibilidad de cosecha asociadas a cada método, considerando los diámetros mínimos de corta establecidos por la normativa vigente. d) Evaluar el desempeño operativo de la Razón de Movimiento como herramienta para la pronosis estructural y el soporte de decisiones de manejo forestal, a partir de la consistencia entre los valores censados y proyectados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El bosque en estudio se encuentra en la Estación Forestal Plaza, Campo Anexo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Sáenz Peña, ubicada a los 59° 48' de Longitud O y 26° 56' de Latitud S, a 75 m s.n.m., (Figura 1) en el extremo oeste del Distrito Chaqueño Oriental (Cabrera, 1971). Dentro de "Las Grandes Unidades de Vegetación y Ambiente del Chaco Argentino", se describen once Subregiones en la provincia de Chaco y trece Grandes Tipos Forestales; el área estudiada pertenece a la Subregión de "Esteros, Cañadas y Selvas de Rivera" y al Tipo Forestal "Río de Oro"; de aproximadamente 16.773 km². Enorme relieve fluvial, muy joven, elaborado por el sistema de ríos autóctonos de la llanura chaqueña (Río de Oro, ríos Guaycurú, Cangüi, Tragadero y Negro). El modelo de vegetación es el más heterogéneo del Chaco, con varios tipos de bosques, pastizales y pajonales (Morello y Adámoli, 1974). El clima es cálido, subtropical con estación seca. La temperatura promedio anual es de 21,5 °C, con una media en el mes más frío, julio de 15 °C, y una mínima media, también en el mes de julio, de 7 °C. El periodo libre de heladas es de 320 a 350 días por año (INTA, 2006). El bosque se encuentra sobre la serie Plaza (Pp), un *Natrustalf Mólico*, del orden de los Alfisoles. Sus principales problemas son escaso espesor del horizonte superficial donde se acumula la materia orgánica y el horizonte lixiviado que se encuentra cerca de la superficie, fuertemente sódico y moderadamente salino (Ledesma, 1992).

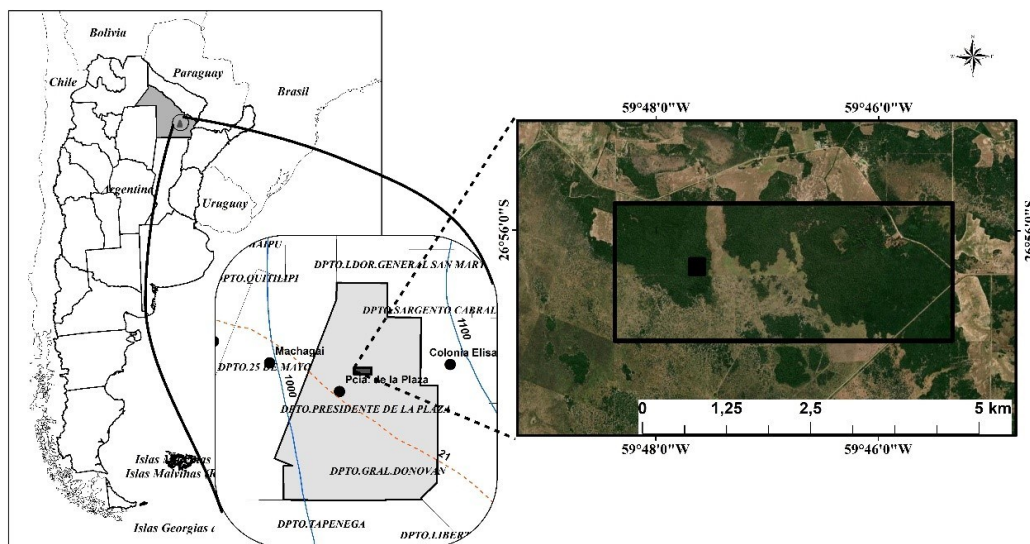


Figura 1. Ubicación relativa del área de trabajo.



Los datos de base provienen de un ensayo de cortas en un bosque sin intervención previa, la corta fue efectuada en el año 2004, la superficie del ensayo es de 5,4 ha (Figura 1), donde se ensayaron dos tratamientos de corta combinados con dos intensidades de remoción de área basal y áreas sin corta (testigo), dispuestos en un diseño experimental de parcela dividida completamente aleatorizada y 4 repeticiones (Kees et al., 2024). Los tratamientos principales correspondieron a las intensidades de remoción de área basal aplicadas a parcelas de 1 ha. Los métodos de selección de árboles constituyeron las subparcelas de 0,5 ha cada una. Las intensidades de extracción representaron 20 % y 33 % del área basal (G) de cada parcela. A su vez en las subparcelas se aplicaron dos métodos diferentes para la elección de los individuos a extraer. Uno de ellos estuvo orientado por la curva de distribución ideal, o método de la masa (MM), para lo cual se aplicó el procedimiento propuesto por Schütz 1989 (citado por Grulke, 1994) y luego se seleccionaron los individuos de las clases diamétricas mayores, cortables; cuando fue necesario se completó el porcentaje preestablecido con pies sobrantes de las clases diamétricas inferiores. El otro método (MAF – Método del Árbol Futuro) se basó en la liberación de árboles de futura cosecha priorizando ejemplares a promocionar y cortando el competidor más cercano hasta completar el porcentaje de extracción de área basal.

Metodología

De acuerdo con Husch et al., (1982) la prognosis por la razón de movimiento corresponde a la proporción de árboles que pasan de una clase diamétrica a otra, dada por la siguiente expresión:

$$RM = (IPD_j / \Delta D) \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

En que:

RM = razón de movimiento (%)

IPD_j = incremento periódico medio en diámetro de la j-ésima clase de diámetro;

ΔD = intervalo de clase de diámetro.

Conforme descrito por Scolforo (1998), la aplicación de este método puede definirse en las siguientes etapas:

- Cuantificación del número de árboles por hectárea y por clase de diámetro;
- Cálculo del incremento periódico medio en diámetro para cada clase;
- Cálculo de la RM, considerando el incremento diamétrico medio;
- Asignación del valor de reclutamiento y de mortalidad de acuerdo con la respectiva clase diamétrica;
- Descuento de los árboles muertos y añadir los reclutamientos en cada clase diamétrica.

Para el presente trabajo se utilizaron los datos censales de las parcelas intervenidas, agrupados por método de selección y relevados en 2022. Se registró información diamétrica de todos los individuos leñosos vivos de todas las especies con DAP mayor a 10 cm, agrupándolos en clases diamétricas de 5 cm de amplitud. Para la proyección de la estructura diamétrica se emplearon los modelos de incremento periódico diamétrico, así como las tasas de reclutamiento y mortalidad estimadas por Kees (2025) para este bosque, diferenciadas por método de corta. Para el incremento periódico anual en DAP los modelos utilizados fueron:

$$MAF = 0,1223214 + 0,0138857 * DAP - 0,0002571 * DAP^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$MM = 0,0069692 + 0,0151334 * DAP - 0,0001882 * DAP^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Los estimadores de ajuste de los modelos son R²=76,8% y el CME= 0,0005 para el MAF mientras que, para el MM, el R²= 94,7% y el CME= 0,0012 respectivamente.

Según Kees (2025), las Tasas de mortalidad y Reclutamiento fueron estimadas a partir de las siguientes expresiones:

$$TMC = [1 - (\frac{Ns}{No})^{(1/t)}] \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

TMC= Tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje.

N0 =Número de individuos inicialmente inventariados

Ns = Número de individuos inicialmente inventariados, sobrevivientes en un inventario posterior después de un intervalo t de tiempo, $N_s = N_0 - \mu$

Mu = Número de individuos muertos durante el intervalo t de tiempo

t = Intervalo de tiempo en años, transcurrido entre las mediciones.

$$TRC = \left[\left(\frac{Nt}{N0} \right)^{(1/t)} - 1 \right] \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

TRC=Tasa anual de reclutamiento expresada en porcentaje

Nt=Número de Individuos inicialmente inventariados más los reclutas durante el periodo t de tiempo, $N_t = N_0 + I$

N0=Número de individuos inicialmente inventariados

R=Número de individuos reclutados durante el intervalo t de tiempo.

Se realizaron estimaciones del área basal por hectárea (G) a partir del número de árboles por hectárea (N) calculado por clase diamétrica. Por otro lado, la estimación del volumen total se efectuó utilizando los modelos propuestos por Kees et al. (2025), que relacionan ambas variables para los bosques del Chaco húmedo, cuya expresión es la siguiente:

$$V = V = D^{(-0,03)} * G^{(1,06)} * e^{(1,73)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

N = individuos por hectárea (N/ha)

G= área basal (m²/ha)

V= volumen total (m³/ha)

Para esta última ecuación los estadísticos de ajuste son R²= 84%, CME= 0,08, AIC= 62,23 y BIC=75,78.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como primera instancia se presentan en la Tabla 1 las especies de interés comercial relevadas para cada método según, su temperamento de acuerdo con lo citado por distintos autores (Valentini, 1978; Wenzel y Hampel 1998; Gómez y Kees 2009).

Se censaron 14 especies de interés comercial en el área donde se aplicó el MAF mientras que donde se aplicó el MM este valor fue de 12. En el MAF se registraron la mayoría de las especies de temperamento robusto, mientras que las especies de temperamento medio y delicado estuvieron registradas en ambos métodos. Las especies de interés comercial, además, estuvieron acompañadas por Tembetarí (*Zanthoxylum hyemalis*), Garabato (*Senegalia praecox*), Ñangapirí (*Eugenia uniflora*), Cocú (*Allophylus edulis*), Tala (*Celtis tala*), Catiguá (*Trichilia catiguá*), Saucillo (*Acanthosyris falcata*), Arachichú (*Rollinia emarginata*), Coronillo (*Scutia buxifolia*), Naranjillo (*Zanthoxylum naranjillo*), y Palo tinta (*Achatocarpus praecox*) como especies con predominio en los estratos arbustivos, mientras que Ombú (*Phytolacca dioica*) y Palo borracho (*Ceiba speciosa*) acompañaban también en el estrato superior.

En la Tabla 2 se muestran los valores de densidad e incremento en diámetro de las especies de interés comercial por clase diamétrica y los valores de reclutamiento y mortalidad de estas especies para cada método de selección.

**Tabla 1.** Especies censadas en cada método según temperamento.

Especies	Método		Nombre científico	Familia	Temperamento
	MAF	MM			
Guayaibí	X	X	<i>Cordia americana</i>	Borraginaceas	Delicado
Espina corona	X	X	<i>Gleditsia amorphoides</i>	Fabáceas	Delicado
Palo lanza	X	X	<i>Phillostillon rhamnoides</i>	Ulmáceas	Delicado
Francisco Álvarez	X	X	<i>Pisonia zapallo</i>	Nictagináceas	Delicado
Ibirá pitá í	X	X	<i>Ruprechtia laxiflora</i>	Poligonáceas	Delicado
Palo piedra	X	X	<i>Diplokeleba floribunda</i>	Sapindáceas	Delicado
Lapacho	X	X	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Bignoniáceas	Delicado
Quebracho blanco	X	X	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	Apocináceas	Robusto
Urunday	X	X	<i>Astronium balansae</i>	Anacardiáceas	Medio
Carandá	X	X	<i>Neltuma Kuntzei</i>	Fabáceas	Robusto
Guayacán	X	X	<i>Libidibia paraguariensis</i>	Fabáceas	Robusto
Palo mora	X	X	<i>Machura tinctoria</i>	Moráceas	Delicado
Algarrobo negro	X		<i>Neltuma nigra</i>	Fabáceas	Robusto
Quebracho colorado	X		<i>Schinopsis balansae</i>	Anacardiáceas	Robusto

Tabla 2. Valores de estructura, incremento, reclutamiento y mortalidad por método de selección.

Clase DAP (cm)	METODO					
	MM			MAF		
	Densidad (ind/ha)	Incremento diámetro (cm/año)	Área basal (m2/ha)	Densidad (ind/ha)	Incremento diámetro (cm/año)	Área basal (m2/ha)
12,5	173,5	0,17	2,13	143,5	0,26	1,76
17,5	85,5	0,21	2,06	60	0,29	1,44
22,5	53,5	0,25	2,13	51,5	0,30	2,05
27,5	38	0,28	2,26	31,5	0,31	1,87
32,5	31,5	0,30	2,61	27,5	0,30	2,28
37,5	21,5	0,31	2,37	20	0,28	2,21
42,5	10,5	0,31	1,49	8,5	0,25	1,21
47,5	3	0,30	0,53	9	0,20	1,59
52,5	3	0,28	0,65	2,5	0,14	0,54
57,5	3	0,25	0,78	4	0,07	1,04
Total	423		17,01	358		15,99
Tasa de reclutamiento (%)		3,8			3,3	
Tasa de mortalidad (%)		1,6			1,7	

Los valores de la Tabla 2, permiten visualizar que a partir de los 37,5 cm de DAP los valores de incremento para el MM son mayores para los diámetros mayores a 40 cm. Para el MAF, los mayores incrementos se determinaron para las clases diamétricas menores a 30 cm, mientras que en el caso del MM los mayores valores de incremento se alcanzan en las clases diamétricas intermedias y superiores. Respecto al área basal, de acuerdo con los valores citados por Gómez y Kees (2005), Gómez et al. (2005) y Brassiolo et al. (2009), considerando los valores de la Tabla 2 podemos inferir se trata de un bosque con una gran cantidad de ejemplares en clases diamétricas superiores y elevada área basal para ambas situaciones referenciadas. Los valores de reclutamiento y mortalidad contemplados corresponden a intensidades moderadas de intervención de acuerdo con Kees (2025) para las especies de interés comercial, debido a que generalmente son las intensidades que se replican en la mayoría de los casos en los bosques de la región.

A partir de los valores de la Tabla 2 se proyectó la estructura diamétrica siguiendo la secuencia propuesta por Scolforo (1998) para un periodo de tiempo de 10 años atendiendo a los sugerido por Pulz et al. (1999) que recomiendan que las proyecciones de la distribución diamétrica deben realizarse para periodos inferiores a 20 años, estos valores se presentan en Tabla 3 y corresponden a los métodos MM y MAF respectivamente. Para esto se asumió que los árboles estaban distribuidos de manera uniforme dentro de las clases diamétricas, donde cada árbol crece a una tasa media. Si bien la distribución real de los árboles dentro de las clases es desconocida, se adoptó el supuesto de uniformidad siguiendo lo sugerido por Austregésilo et al., (2004) y Stepka et al., (2010).

Tabla 3. Número de árboles censados y proyectados por hectárea, razón de movimiento por método para un periodo de 10 años por método de selección.

Clase DAP (cm)	METODO							
	MM				MAF			
	N 2022 (ind/ha)	inc DAP (cm/año)	RM	N 2032 (ind/ha)	N 2022 (ind/ha)	inc DAP (cm/año)	RM	N 2032 (ind/ha)
12,5	173,5	0,17	1,67	259,2	143,5	0,26	2,56	177,2
17,5	85,5	0,21	2,14	90,8	60	0,29	2,87	83,4
22,5	53,5	0,25	2,52	53,7	51,5	0,30	3,05	45,9
27,5	38	0,28	2,81	37,1	31,5	0,31	3,10	36,5
32,5	31,5	0,30	3,00	28,9	27,5	0,30	3,02	25,6
37,5	21,5	0,31	3,10	23,0	20	0,28	2,81	21,4
42,5	10,5	0,31	3,10	14,7	8,5	0,25	2,48	13,1
47,5	3	0,30	3,01	6,6	9	0,20	2,02	8,1
52,5	3	0,28	2,83	2,6	2,5	0,14	1,43	4,6
57,5	3	0,25	2,55	2,7	4	0,07	0,71	3,5
	423			519,4	358			419,3

Los valores de la razón de movimiento (RM) permiten identificar diferencias apreciables entre los métodos de selección en relación con la promoción de individuos y su comportamiento posterior. Según Stepka et al., (2010) los resultados de la proyección mediante este método presentan valores totales por hectárea muy próximos a los reales, con algunas ventajas respecto a otros métodos de proyección. En la interpretación de la RM, los dos primeros dígitos de la derecha indican la fracción en porcentaje de árboles que avanzan una clase de diámetro en relación con el tercer dígito a la derecha. Por ejemplo, para el MM, la RM = 2,83 para la clase de 52,5 cm, en el período de 2022 - 2032, permite indicar que el 50% de la densidad en esa clase se moverá a la clase superior durante ese periodo, mientras que para el MAF esa proporción llegaría al 30% solamente.

De manera general, en el método MAF se observan valores relativamente más elevados en las primeras clases diamétricas, mientras que en las clases intermedias y superiores los valores mayores corresponden al método MM, consecuentemente con el carácter de ambos métodos de selección, de acuerdo con lo expresado

por Kees (2025). Los resultados obtenidos permitieron caracterizar las diferencias estructurales y productivas entre ambos métodos de corta; el MAF concentró su crecimiento en las clases diamétricas pequeñas e intermedias, reflejando una estructura orientada a la consolidación de capital forestal futuro; mientras que, el MM presentó incrementos más altos en las clases pequeñas y en las superiores, coherente con un enfoque orientado a volumen aprovechable en el corto y mediano plazo.

A partir de la proyección realizada, en el MAF el incremento es de alrededor del 17% en densidad y 12% en área basal y volumen., mientras que para el MM el incremento ronda los 22% en densidad y 13% en área basal y volumen. En el caso del MAF, este incremento se distribuye principalmente entre las clases diamétricas inferiores e intermedias, mientras que en el método MM se concentra en las clases diamétricas más pequeñas y en las de mayor tamaño. Estas diferencias reflejan patrones contrastantes entre métodos, observables a partir de la comparación de los valores proyectados y censados que se presentan en la Figura 2 a continuación.

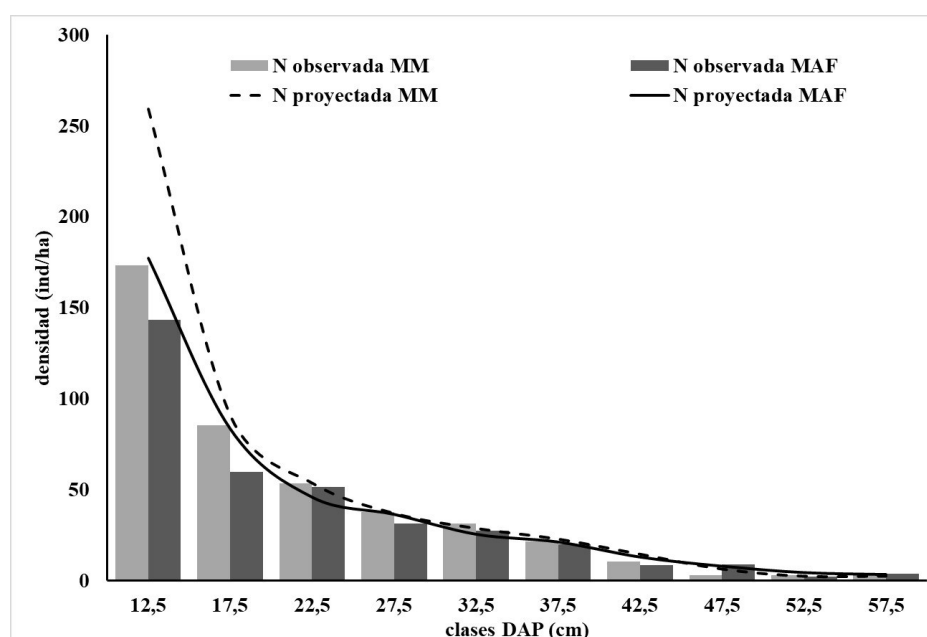


Figura 2. Densidades observadas y proyectadas según método de selección para el periodo 2022 – 2032.

En la Figura 2 se observa que las diferencias más notorias entre las densidades observadas y las proyectadas se concentran principalmente en las dos primeras clases diamétricas. Asimismo, se aprecian diferencias en las clases diamétricas de mayor tamaño, lo que sugiere una mayor acumulación de individuos hacia el final del periodo de proyección. En conjunto, la figura muestra variaciones en la distribución de la densidad por clases diamétricas que, según Kees (2025), pueden ser atribuibles a los patrones de crecimiento y movimiento de individuos en la estructura diamétrica.

En la Tabla 4, a continuación, se muestran los valores estimados de densidad, área basal y volumen y las variaciones proyectadas para el periodo 2022 – 2032 para el método MAF y seguidamente en Tabla 5 para el MM.

Para el método MAF, la proyección arrojó un incremento global del 17% en densidad y alrededor del 12% tanto para el área basal como para el volumen total, concentradas fundamentalmente en las clases diamétricas inferiores e intermedias.

Teniendo en cuenta la legislación de la provincia del Chaco que regula parte de la extracción maderera de los bosques según los valores de diámetros mínimos de corta para cada ecorregión y especie que se encuentran reglamentados por el decreto 1195/80 y sus modificatorias (decretos 896/92 y 2163/96), la proyección permitió calcular un incremento en la posibilidad de casi un 20% para el MAF en el periodo 2022 - 2032.

Tabla 4. Parámetros estructurales y su variación para el MAF en el periodo 2022 - 2032.

Clase DAP (cm)	N 2022 (ind/ha)	G 2022 (m2/ha)	V 2022 (m3/ha)	Variación N (ind/ha)	Variación G (m2/ha)	Variación V (m3/ha)
12,5	143,5	1,76	8,85	33,7	0,41	2,15
17,5	60,0	1,44	7,36	23,4	0,56	2,97
22,5	51,5	2,05	10,71	-5,6	-0,22	-1,19
27,5	31,5	1,87	9,88	5,0	0,30	1,63
32,5	27,5	2,28	12,24	-1,9	-0,16	-0,86
37,5	20,0	2,21	11,94	1,4	0,15	0,84
42,5	8,5	1,21	6,45	4,6	0,65	3,61
47,5	9,0	1,59	8,66	-0,9	-0,16	-0,92
52,5	2,5	0,54	2,86	2,1	0,45	2,46
57,5	4,0	1,04	5,63	-0,5	-0,13	-0,73
Totales	358,0	15,99	84,6	61,3	1,85	9,95

Tabla 5. Parámetros estructurales y su variación para el MM en el periodo 2022 - 2032.

Clase DAP (cm)	N 2022 (ind/ha)	G 2022 (m2/ha)	V 2022 (m3/ha)	Variación N (ind/ha)	Variación G (m2/ha)	Variación V (m3/ha)
12,5	173,5	2,13	10,77	85,7	1,05	5,51
17,5	85,5	2,06	10,60	5,3	0,13	0,68
22,5	53,5	2,13	11,14	0,2	0,01	0,05
27,5	38,0	2,26	11,99	-0,9	-0,05	-0,28
32,5	31,5	2,61	14,08	-2,6	-0,22	-1,20
37,5	21,5	2,37	12,87	1,5	0,17	0,95
42,5	10,5	1,49	8,02	4,2	0,60	3,35
47,5	3,0	0,53	2,79	3,6	0,63	3,46
52,5	3,0	0,65	3,45	-0,4	-0,08	-0,42
57,5	3,0	0,78	4,19	-0,3	-0,08	-0,44
Totales	423,0	17,0	89,9	96,4	2,17	11,66

Teniendo en cuenta los valores de la Tabla 5, para el método MM, las variaciones proyectadas representan un incremento aproximado del 22 % en la densidad, junto con aumentos cercanos al 13 % tanto en el área basal como en el volumen total. En concordancia con los criterios planteados previamente, el aumento estimado de la posibilidad alcanza en este caso alrededor del 32 % en términos de volumen total. Este incremento se concentra principalmente en las clases en torno a los diámetros mínimos de corta, y no en las clases de mayores diámetros. Este comportamiento sugiere que la corta efectuada en clases dominadas por especies umbrófilas, no compromete la estructura general del bosque, la cual estaría principalmente sostenida por las especies heliófilas y de media sombra típica de los bosques nativos del Chaco húmedo de acuerdo con Wenzel y Hampel (1998), Gómez y Kees (2009) y Kees et al., (2025).

Para el método MM, las variaciones proyectadas significan un incremento del 22% para la densidad y alrededor del 13% para el área basal y el volumen total. Bajo los mismos argumentos establecidos precedentemente, el incremento en la posibilidad, en este caso alcanza al 32% en términos de volumen total, concentrada en torno a los diámetros mínimos de corta pero no de los diámetros mayores.

En ambas situaciones los valores de variaciones en área basal son un leve menor a los determinados por Kees et al (2025) para este bosque, lo cual, bien puede tener su origen en el alcance metodológico que propone el modelo seleccionado para proyectar la estructura con sus bondades y riesgos de sub o sobre estimación. En este sentido y de acuerdo con Kees (2025) podemos deducir que el MAF favoreció principalmente la acumulación de individuos en clases diamétricas inferiores e intermedias, reflejando una dinámica orientada a la



formación de capital forestal futuro, mientras que el método MM promovió mayores incrementos en las clases superiores, con un aumento más marcado del volumen total; los valores proyectados muestran que las diferencias en dinámica dependen fuertemente del criterio de selección aplicado, aun bajo intensidades de intervención similares.

Desde el punto de vista del manejo, los resultados sugieren que el método de la Masa resulta más adecuado cuando el objetivo es incrementar la disponibilidad de volumen aprovechable en el mediano plazo, particularmente en torno a los diámetros mínimos de corta establecidos por la normativa vigente. En cambio, el método del Árbol Futuro se presenta como una alternativa más apropiada para esquemas de manejo orientados a la sostenibilidad estructural y a la promoción de árboles de futura cosecha.

La evaluación de la Razón de Movimiento como herramienta operativa se sustenta en la coherencia observada entre los valores censados y los proyectados para densidad, área basal y volumen en ambos métodos de selección. Las diferencias detectadas entre MM y MAF responden a criterios silvícolas contrastantes y se manifiestan de manera consistente en la redistribución diamétrica simulada, sin generar inconsistencias estructurales ni comportamientos erráticos en las proyecciones. Asimismo, los incrementos proyectados se encuentran dentro de rangos comparables a los reportados para este bosque por estudios previos, lo que refuerza la validez del método en el contexto analizado.

CONCLUSIONES

La proyección de la estructura diamétrica y del volumen mediante la Razón de Movimiento permitió demostrar que ambos métodos de selección —MM y MAF— generan incrementos significativos en la densidad, el área basal y el volumen del bosque del Chaco húmedo. No obstante, el patrón de redistribución diamétrica y sus consecuencias operativas difieren claramente entre ambos enfoques.

El Método de la Masa (MM) mostró una mayor capacidad para incrementar el volumen aprovechable en el mediano plazo, con un aumento estimado de 32% en la posibilidad de cosecha, concentrado en las clases diamétricas cercanas a los valores mínimos de corta. Este patrón lo posiciona como una alternativa adecuada cuando el objetivo principal es optimizar el rendimiento volumétrico sin comprometer la estructura general del bosque.

El Método del Árbol Futuro (MAF), por su parte, promovió una mayor acumulación de individuos en las clases diamétricas inferiores e intermedias, contribuyendo a la consolidación del capital forestal futuro. Su incremento en la posibilidad de cosecha, del orden del 20%, evidencia un comportamiento más conservador y compatible con esquemas de manejo orientados a la sostenibilidad estructural.

En conjunto, los resultados resaltan que la elección del método silvícola debe estar alineada con objetivos de manejo claramente definidos. Además, la integración combinada de ambos métodos aparece como una estrategia viable para balancear producción a mediano plazo y formación de estructura futura.

Finalmente, en el contexto analizado, la Razón de Movimiento demostró ser una herramienta consistente y operativamente adecuada para la prognosis de la estructura diamétrica y del volumen, permitiendo diferenciar de manera clara los efectos de métodos silvícolas contrastantes. Su aplicación posibilitó estimar variaciones coherentes en densidad, área basal, volumen y posibilidad de cosecha, constituyéndose en un soporte válido para la planificación del manejo forestal adaptativo. No obstante, su utilización debe complementarse con monitoreo periódico que permita ajustar parámetros y reducir potenciales riesgos de sub- o sobreestimación asociados a procesos dinámicos propios de los bosques nativos.

REFERENCIAS

- Abdelnour, A., Aguilar, M., y Valverde, L. (2011). Micropropagación de pilón (*Hieronyma alchorneoides*). *Agronomía Costarricense*, 35(2), 9–19. <https://doi.org/10.15517/rac.v35i2.6675>
- Alvarado, D. (2016). *Ganancia genética a los 4 años de edad en el programa clonal de pilón (Hieronyma alchorneoides) en San Carlos, Zona Norte de Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

- Austregésilo, S. L., Ferreira, R. L. C., Silva, J. A. A., Souza, A. L., Meunier, I. M. J., y Santos, E. S. (2004). Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semi-decidual secundária. *Revista Árvore*, 28(2), 227–232. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000200009>
- Brassiolo, M., Gómez, C., Kees, S., y Guzmán, A. (2009). Comparación de dos métodos e intensidad de corta en un bosque alto del Chaco húmedo. En *XIII Congreso Forestal Mundial*. Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, A. (1971). Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 14, 1–42.
- Cabrera, J., Lamelas, M. T., Montealegre, A. L., y de la Riva, J. (2014). Estimación de variables dasométricas a partir de datos LiDAR PNOA en masas regulares de *Pinus halepensis* Mill. En *XVI Congreso Nacional de Tecnología de la Información Geográfica* (pp. 123–129).
- Chassot, T., Fleig, F. D., Finger, C. A. G., y Longhi, S. J. (2011). Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Florestal*, 21(2), 303–313. <https://doi.org/10.5902/198050983234>
- Gómez, C., y Kees, S. (2005). Estructura y composición florística de un bosque alto explotado del Chaco oriental. *IDIA XXI*, 8, Forestales. INTA.
- Gómez, C., y Kees, S. (2009). Comportamiento de heliófitas y sombrívoras en el desarrollo sucesional del bosque del Chaco húmedo. En J. Morello & A. F. Rodríguez (Eds.), *El Chaco sin bosques: La Pampa o el desierto del futuro*. Universidad de Buenos Aires, GEPAMA – UNESCO.
- Gómez, C., Brassiolo, M., y Kees, S. (2005). Respuesta de un bosque nativo del Chaco oriental a tres intensidades de raleo. En *Actas del 3.º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. ISSN 1669-6786.
- Graulke, M. (1994). Propuesta de manejo silvopastoril en el Chaco Semiárido. *Revista de Ciencias Forestales Quebracho*, 2, 5–13.
- Graulke, M., Brassiolo, M., Soto, G., Lannes, F., Obst, K., y Michela, J. (2007). *Manual para el manejo forestal sustentable de los bosques nativos de la provincia del Chaco*. Ministerio de Producción de la Provincia del Chaco.
- Husch, B., Miller, C. I., y Beers, T. W. (1982). *Forest mensuration* (3rd ed.). Wiley.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2006). *Serie estadística 2005*. INTA.
- Kees S.M., Brassiolo M.M., Toledo S. y Peri P.L. (2024) Efectos de tratamientos silviculturales e intensidad de corta sobre la estructura y biodiversidad de un bosque alto del Chaco Húmedo. *Quebracho* 32: 89-101
- Kees, S. M. (2025). *Efecto de la corta sobre la estructura y diversidad forestal de un bosque del Chaco húmedo* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. <http://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/25-KEES-Tesis-doctoral-Efecto-de-la-cortas-sobre-la-estructura-FCF-UNSE-ebook.pdf>
- Kees, S., Brassiolo, M., Toledo, S., y Peri, P. (2025). Efectos de la corta sobre la dinámica del bosque alto del Chaco húmedo, Argentina. *Bosque*, 46(1), 53–68. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002025000100053>
- Lana, M. D., Péllico Netto, S., Corte, A. P. D., y Sanquetta, C. (2015). Prognose da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. *Floresta e Ambiente*, 22(1), 71–78.
- Ledesma, L. (1992). *Carta de suelos de los campos anexo Lote V y Estación Forestal Plaza*. INTA EEA Sáenz Peña.
- Machado, S., Cysneiros, V., Nascimento, R. G., Martins, A., y Schmidt, L. (2017). Projeção da estrutura diamétrica de grupos ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. *Floresta e Ambiente*, 24.
- Martínez Pastur, G., Schlichter, T., Gowda, J. H., Huertas Herrera, A., Toro Manríquez, M., Lencinas, M. V., Manghi, E., Matteucci, S. D., Cellini, J. M., y Peri, P. L. (2021). Beneficios e impactos de la promulgación de la Ley N.º 26.331 y factores de cambio que influyen sobre su implementación. En: Peri P. L., G. Martínez Pastur & T. Schlichter (Eds.), *Uso sostenible del bosque nativo: Aportes desde la silvicultura argentina* (Cap. 5).



- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.** (2020). *Segundo inventario nacional de bosques nativos: Informe región forestal Parque Chaqueño (primera revisión)*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_region_forestal_parque_chaqueno_primera_revision_0.rar
- Morello, J., y Adámoli, J.** (1974). *La vegetación de la República Argentina: Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino. Segunda parte: Vegetación y ambiente de la provincia del Chaco*. INTA.
- Murillo, O., Vallejos, J., Badilla, Y., Guzmán, N., Luján, R., y González, E.** (2016). Crescimento efetivo mensal inicial em plantações de teca (*Tectona grandis*) em Costa Rica. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 4(2), 87–90.
- Oliveira, L. C. L. Q., Jardim, F. C. S., y Gomes, J. M.** (2020). Predição do ciclo de corte de espécies arbóreas comerciais por grupos ecológicos em uma floresta na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Biometria*, 38(1), 18–34.
- Peri, P., Chauchard, L., Brown, A., La Rocca, S., Fernández, N., Amoroso, M., Campanello, P., Hilgert, N., Bergesio, L., Malizia, M., García Moritán, M., Balducci, E., Politi, N., Rojas, F., Castillo, L., y Martínez Pastur, G.** (2021). Historia y situación actual del uso del bosque nativo y principales técnicas silvícolas. En P. L. Peri, G. Martínez Pastur & T. Schlichter (Eds.), *Uso sostenible del bosque nativo: Aportes desde la silvicultura argentina* (Cap. 4).
- Pulz, F. A., Scolforo, J. R. S., Oliveira, A. D., Mello, J. M., y Oliveira-Filho, A. T.** (1999). Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. *Cerne*, 5(1), 1–14.
- Ramírez, M. H., y Torres, R. J.** (1985). Análisis del desarrollo y estado actual de las experiencias prácticas y técnicas en la evaluación de plantaciones. En *Tercera reunión nacional sobre plantaciones forestales* (Publicación especial N.º 48, pp. 35–43). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Sanquetta, C. R., Brena, D. A., Ângelo, H., y Mendes, J. B.** (1996). Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. *Ciência Florestal*, 6(1), 65–78.
- Schneider, P. R., y Finger, C. A. G.** (2000). *Manejo sustentado de florestas inequianas heterogêneas*. UFSM.
- Schütz, J.-P.** (1989). *Der Plenterbetrieb*. Escuela Politécnica Federal de Zúrich.
- Scolforo, J. R. S.** (1998). *Manejo florestal*. UFLA/FAEPE.
- Scolforo, J. R. S., Pulz, F. A., Mello, J. M., y Oliveira Filho, A. T.** (1996). Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. *Cerne*, 2(1), 112–137.
- Stepka, T. F., Dias, A. N., Figueiredo Filho, A., Machado, S. A., y Sawczuk, A. R.** (2010). Prognose da estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista pelos métodos razão de movimentos e matriz de transição. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30(64), 327–336.
- Valentini, J.** (1978). Tratamiento silvicultural de los bosques naturales (Tomo I, pp. 179–218). Curso de perfeccionamiento profesional.
- Vasconcelos, S. S., Higuchi, N., y Oliveira, M. V. N.** (2009). Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. *Acta Amazonica*, 39(1), 71–80.
- Wenzel, M., y Hampel, H.** (1998). Regeneración de las principales especies arbóreas del Chaco húmedo argentino. *Quebracho*, 6, 5–18.