

Evaluación de calidad y proyección dendrométrica de una plantación forestal de
Pinus patula en Málaga Santander.

Karen Daritza Ortiz Chivatá

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Forestal

Director

Ricardo Andrés Oviedo Celis

MSc Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Codirectora

Laura Ramírez Quintero

PhD. Biometría Forestal

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Programa de Ingeniería forestal

Bucaramanga

2024

Agradecimientos

Agradezco a Dios por ser mi refugio ante cualquier adversidad y permitirme culminar este proceso académico.

A mi madre por ser una mujer ejemplar y luchadora, por siempre estar presente en mi vida con todo su amor y confiar en mis capacidades.

A mi director de Tesis, el profesor Ricardo Oviedo Celis y a mi codirectora, Laura Ramírez Quintero por su tiempo y conocimiento para guiar el desarrollo del presente trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander Sede Málaga, por ser un espacio para el aprendizaje, formación personal y profesional.

Tabla de contenido

Introducción	13
1 Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2 Marco teórico	17
2.1 Plantaciones comerciales.	17
2.1.1 Manejo silvicultural de plantaciones comerciales.....	18
2.1.2 Pinus patula Schiede and Deppe in Schlecht. & Cham.....	20
2.1.3 Evaluación de calidad de especies forestales.	21
3 Metodología	22
3.1 Área de estudio.....	22
3.2 Métodos.....	23
3.2.1 Evaluación de calidad.	23
3.2.2 Recolección de datos dendrométricos.....	24
3.2.3 Recolección de muestras de suelo.....	24
3.3 Modelo de crecimiento.....	25
3.3.1 Selección ecuación de volumen.	25
3.3.2 Estimación volumen observado de referencia	26
3.3.3 Ajuste de modelo de crecimiento.....	27

3.3.4 Predicción del volumen en el tiempo	28
3.3.5 Análisis relación suelo – crecimiento.	28
3.4 Acciones de mejora.....	28
4 Resultados	29
4.1 Calidad de la madera plantación comercial	29
4.2 Patrón de crecimiento para <i>P. patula</i> en Málaga – Santander.	32
4.2.1 Ecuación de volumen seleccionada.	32
4.2.2 Estimación volumen observado por parcela	33
4.2.3 Ajuste modelo de crecimiento por parcela <i>P. patula</i>	33
4.2.4 Volumen proyectado por parcela <i>P. patula</i>	34
4.3 Acciones de mejora.	36
5 Discusión.....	40
6 Conclusiones	43
7 Recomendaciones.....	44
Referencias bibliográficas.....	45

Lista de tablas

Tabla 1. Variables, evaluación calidad plantación forestal.....	23
Tabla 2. Parámetros físicos y químicos del suelo analizados	25
Tabla 3. Ecuaciones de volumen referentes para modelo de crecimiento.	26
Tabla 4. Modelos de crecimiento evaluados	27
Tabla 5. Parámetros de referencia ajuste modelos de crecimiento P.patula	34

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio.....	22
Figura 2. Diagrama de cajas para volumen inicial estimado	32
Figura 3. Volumen total observado por parcela <i>Pinus patula</i> Málaga – Santander	33
Figura 4. <i>Ajuste modelo exponencial y logístico por parcela</i>	34
Figura 5. Volumen de <i>P. patula</i> proyectado por parcela municipio de Málaga – Santander	35
Figura 6. Proyección manejo silvicultural <i>P.patula</i> parcela A.....	38
Figura 7. Proyección manejo silvicultural <i>P.patula</i> parcela B	38

Glosario

Crecimiento: se refiere al aumento de tamaño, altura, diámetro y volumen de árboles o plantaciones durante un período de tiempo determinado. Puede evaluarse a nivel de árbol individual o a nivel de plantación completa (Monroy, 1997).

Deforestación: es el proceso de eliminación a gran escala de bosques o áreas forestales, principalmente para dar paso a actividades como la agricultura, la ganadería, la expansión urbana o la extracción de recursos naturales. Este proceso implica la tala o quema de árboles, lo que resulta en una pérdida significativa de la cubierta forestal primaria (Salgado, 2014)

Dendrometría: es la ciencia que se encarga de medir y cuantificar las dimensiones de los árboles, incluyendo parámetros como altura, diámetro, volumen y otras características relacionadas con su desarrollo y estructura (Cansino, 2012) .

Especie comercial: es un tipo específico de planta, generalmente un árbol, que se encuentra en los bosques o se cultiva en plantaciones con el fin de obtener beneficios económicos de su uso. Estas especies de árboles se seleccionan específicamente por su valor económico y características deseables en el mercado, como crecimiento rápido, alta calidad de la madera o resistencia a plagas, enfermedades o diferentes condiciones del entorno de producción previsto(Johnson & Puettman, 2016).

Manejo silvicultural: es un conjunto planificado de prácticas y estrategias aplicadas en un bosque o plantación para promover el crecimiento, el estado fitosanitario y la sostenibilidad de los recursos forestales. Incluye actividades como plantación, poda, control de plagas y enfermedades, y otras intervenciones destinadas a optimizar la producción de madera y proteger la biodiversidad (Musálem, 2006).

Modelo de crecimiento: es una representación matemática o estadística que describe el desarrollo y cambio en el tiempo de las características de crecimiento de una población de árboles o bosques. Estos modelos intentan capturar relaciones entre diferentes variables, como la edad, el tamaño o el suelo, con el objetivo de explicar el crecimiento de los árboles o cómo evolucionará una plantación en el futuro (Hynynen, 2022).

Plantación comercial: hace referencia a un área donde se plantan árboles de manera planificada y organizada para producir madera, papel u otros productos forestales. Estos tipos de plantaciones se establecen utilizando técnicas de silvicultura que incluyen una cuidadosa selección de especies de árboles, densidad de plantación y prácticas de manejo para asegurar el crecimiento ideal de los árboles para uso comercial (Marín, 2019).

Poda forestal: se trata de una técnica de manejo silvicultural que se centra en la eliminación selectiva de ramas de los árboles con el propósito de mejorar la calidad de la madera, fomentar la cosecha y promover un crecimiento más ordenado y saludable, además de controlar la densidad de la vegetación. Esta técnica pretende modificar la forma y estructura de los árboles con el fin de optimizar su productividad y contribuir a la gestión sostenible de los recursos naturales (Corporación Nacional Forestal, 2013)

Rendimiento: es la cantidad y calidad de los productos obtenidos de un área específica de tierra o de una plantación. Se puede evaluar en función del volumen de madera, el rendimiento de cultivos, o cualquier otro producto cultivado (Telles-Antonio et al., 2022).

Resumen

Título: evaluación de calidad y proyección dendrométrica de una plantación forestal de *Pinus patula* en Málaga Santander.*

Autor: Karen Daritza Ortiz Chivatá.**

Palabras clave: Crecimiento forestal, Manejo del cultivo, Pinales, Reforestación, Planificación del manejo forestal.

Descripción:

El desarrollo y crecimiento óptimo, de los cultivos forestales comerciales contribuye a la sostenibilidad de los territorios. En tal sentido, el presente estudio explora desde un enfoque analítico, el crecimiento en volumen y la calidad de la madera, de una plantación forestal de *Pinus patula* establecida en el año 2012 en el municipio de Málaga Santander Colombia. El trabajo de campo, se llevó a cabo en dos unidades de muestreo de la especie forestal, establecidas con un distanciamiento entre individuos de 2,5 x 2,5 y 3.0 x 3.0 m, donde se recolectaron datos de variables dendrométricas cada 15 días por seis meses, que fueron procesados para evaluar su ajuste; en modelos de crecimiento exponencial y logístico, informaciones que igualmente fueron sometidas a pruebas estadísticas de ANOVA ($P < 0.05$) y correlación de Pearson para identificar diferencias y relaciones entre las variables. Los resultados de la evaluación de calidad, reflejaron algunos problemas en las dos parcelas respecto de su desarrollo, sin embargo, ninguna variable se clasificó como crítica, el volumen de madera proyectado tuvo mejor ajuste en el modelo exponencial, y respecto de las variables del suelo, ninguna se correlacionó con este, las informaciones obtenidas permitieron definir una línea de tiempo de siete años donde el manejo

silvicultural fue similar en las dos parcelas. Concluimos, que la evaluación de calidad es una herramienta que debe ser implementada durante todo el turno del cultivo forestal, también, es necesario aumentar las mediciones, y emplear otros modelos de crecimiento, de tal forma, que las labores silviculturales puedan ser proyectadas a mayor tiempo, y se logre establecer con claridad el comportamiento de la especie en las condiciones de oferta ambiental y biofísicas de Málaga Santander.

Abstract

Title: Quality evaluation and dendrometric projection of a *Pinus patula* forest plantation in Málaga Santander.*

Author: Karen Daritza Ortiz Chivatá.*

Key Words: Pinales, crop management, reforestation, forest management planning, forest growth

Descripción: The optimal development and growth of commercial forest crops contributes to the sustainability of the territories. In this sense, the present study explores, from an analytical approach, the growth in volume and quality of wood, of a *Pinus patula* forest plantation established in 2012 in the municipality of Málaga Santander Colombia. The field work was carried out in two sampling units of the forest species, established with a distance between individuals of 2.5 x 2.5 and 3.0 x 3.0 m, where data on dendrometric variables were collected every 15 days per six months, which were processed to evaluate their adjustment; in exponential and logistic growth models, information that was also subjected to statistical tests of ANOVA ($P < 0.05$) and Person's correlation to identify differences and relationships between the variables. The results of the quality evaluation reflected some problems in the two plots regarding their development, however, no variable was classified as critical, the projected volume of wood had a better fit in the exponential model, and with respect to the soil variables, none was correlated with this, the information obtained allowed defining a seven-year timeline where silvicultural management was similar in the two plots. We conclude that quality evaluation is a tool that must be implemented throughout the entire shift of forestry cultivation; also, it is necessary to increase measurements and use other growth models,

in such a way that forestry work can be projected to a greater extent. time, and it is possible to clearly establish the behavior of the species in the environmental and biophysical supply conditions of Málaga Santander.

Introducción

Las plantaciones forestales de tipo comercial son un cultivo importante para el desarrollo de un territorio, por suministrar madera de forma constante y en volúmenes altos para cubrir la creciente demanda de esta valiosa materia prima de origen natural (Reyes Moreno et al., 2022). Su establecimiento promueve la conservación del bosque natural al reducir que las especies nativas de estos ecosistemas estratégicos, sean el único medio para abastecer de madera los mercados locales e internacionales, aspecto que en la actualidad se presenta como un reto para el sector forestal (Denegri et al., 2021).

Colombia posee un potencial forestal de tipo comercial que cubre una extensión de 7,5 millones de ha, de las cuales, solo se tienen plantadas 541.899 ha, cifra que refleja los vacíos de la silvicultura comercial a nivel nacional (Vásquez, 2023). Así mismo, para el año 2023 este sector realizó un aporte, que únicamente representó un 1,16% al PIB, es decir, 0,04% menos al año anterior, y a nivel mundial el panorama no fue diferente con menos del 0,1% (DANE, 2023). Estos valores podrían tener otra contribución si los cultivos forestales comerciales tuvieran mayor extensión, fomento, y manejo silvicultural durante el ciclo productivo. En este sentido, son evidentes las dificultades que afronta el sector forestal en el país, donde las limitantes externas como la legalidad del material e internas a la misma silvicultura comercial, han afectado un desarrollo y crecimiento. Además, el desinterés por estos cultivos y los mitos creados en torno a las especies plantadas, explican el atraso de las plantaciones forestales a nivel nacional (Pérez et al., 2015).

Reportes de Minagricultura (2023), indican a nivel nacional un panorama no favorable del negocio forestal comercial, donde la falta de información respecto de las ventajas que tienen las

especies como *Pinus* sp, *Eucalyptus* sp y *Acacia* sp que representan un área plantada en el país del 10,99%, 7,89% y 12,58% tienen como alternativa de gestión forestal. En tal sentido, Rodríguez (1996), afirman que los cuestionamientos como daños al medio ambiente, al suelo y al agua, son frecuentes sin que se aporten evidencias claras al respecto. No obstante, su uso respecto de las actividades agrícolas y pecuarias, demuestra que, en áreas degradadas, previenen la erosión y recuperan los sitios afectados por estas actividades productivas (Prado, 2015). Al respecto, Ladrach (2005) concluyó que una plantación manejada de manera adecuada, favorece la permanencia de las especies nativas del entorno.

Todo lo anterior, demanda implementar sistemas de monitoreo silvicultural, que permitan generar información sobre la calidad y crecimiento de las especies maderables comerciales a escala regional y local, y así, reducir los vacíos actuales sobre la dinámica de estos cultivos (Penagos et al., 2011). Por otra parte, el incremento de plantaciones comerciales requiere de bases conceptuales sólidas; que permitan una planificación silvicultural integral articulada al desarrollo territorial, con la inclusión de modelos de crecimiento que aporten datos sobre la historia y desarrollo de las especies plantadas (Held et al., 2021). Este tipo de análisis, es poco implementado por los tiempos y costos que implican las tareas de campo, así como la constancia y procesamientos de estos. Para suplir estos vacíos de información, la ciencia forestal cuenta con modelos de crecimiento basados en enfoques estadísticos y matemáticos, y tiene como fin representar cuantitativamente la evolución dasométrica de los individuos en un periodo de tiempo determinado, aspecto donde Colombia aún tiene retos por asumir.

La provincia de García Rovira, conformada por 12 municipios, cuenta con 56.520 ha de suelos con aptitud forestal (CONIF, 2007). Sin embargo, estas han sido destinadas en su mayoría a actividades agropecuarias. Situación que reduce la posibilidad de disponer de otras alternativas

de uso del suelo como cultivos forestales comerciales, más aún, en esta región de Santander, donde la oferta ambiental y edáfica es óptima para tal fin. En el predio Guacharaco, vereda Buenavista del municipio de Málaga, el 13 de mayo del año 2021 se establecieron 0,6 ha de plantación con la especie *Pinus patula* Schl. et Cham. A la fecha, este cultivo no cuenta con datos que permitan establecer una línea base sobre la condición de calidad, así como la proyección dendrométrica que posibilite al propietario conocer las bondades de la plantación desde el punto de vista comercial, y definir así aspectos futuros para el aprovechamiento de la madera, esto bajo un escenario silvicultural. Es por este caso, que por medio del presente proyecto se busca llenar estos vacíos de información a mediano plazo en el área de estudio mencionada.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la calidad de la madera y las variables dendrométricas asociadas al crecimiento en una plantación comercial de *Pinus patula*, para definir parámetros técnicos de manejo silvicultural que permitan optimizar la productividad del cultivo forestal.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar la condición de calidad de la madera para la plantación forestal objeto de estudio

Estimar el patrón de crecimiento de *Pinus patula*, mediante un modelo que relacione el tiempo respecto al volumen.

Explicar la incidencia de las condiciones del suelo, y el crecimiento de la especie en volumen.

Definir acciones de mejora para maximizar el crecimiento y calidad de la madera en la plantación forestal, a partir de criterios técnicos de manejo silvicultural

2 Marco teórico

2.1 Plantaciones comerciales.

Se entiende por plantación forestal comercial, el cultivo de especies de porte arbóreo con potencial en la producción madera, característica importante para generar ingresos por comercialización de productos y subproductos. Tradicionalmente, estos cultivos son confundidos con el término bosque, sin embargo, este último se relaciona con ecosistemas naturales, donde aspectos como composición, estructura y dinámicas internas hacen que sean diferentes para la ciencia forestal (Calvo, 1995). Sobre este contexto, las plantaciones forestales no son objeto de comparación con ecosistemas forestales naturales, y deben ser tratadas de forma distinta por su enfoque, sobre las bases y principios de la silvicultura (Johnson & Puetzman, 2016).

El establecimiento de plantaciones forestales como un cultivo, es resultado de la creciente demanda de madera en el mundo, suministro que los bosques naturales no pueden cubrir en su totalidad (FAO, 2022). Estos últimos, a pesar de ser ecosistemas donde crecen valiosos recursos forestales como *Prioria copaifera* (cativo), *Swietenia macrophylla* (caoba) y *Aniba perutilis* (comino), entre otros y caracterizados por maderas de alta calidad, no cuentan aún con un sistema de manejo silvicultural adecuado que evite su explotación insostenible, situación que puede generar estados críticos de conservación (Calderón et al., 2002).

A nivel global, el total de área plantada con especies comerciales es aproximadamente 131 millones de hectáreas, y representa tan solo el 3% de los recursos forestales mundiales (ONU, 2020). Un aspecto relevante de estos cultivos, es su composición por especies introducidas principalmente en países del trópico donde su extensión corresponde al 44% (FAO, 2020). Colombia posee un alto potencial de tipo forestal, fundamental para el desarrollo sostenible y

económico. Sin embargo, actualmente se trabaja en el aumento de la producción y tecnificación maderera que pueda satisfacer la demanda comercial. Para el año 2030, según la Office National des Forets (ONF, 2018), se proyecta la producción de 1'000.000 m³/año de madera por medio de plantaciones forestales comerciales, como materia prima de las principales industrias del país y en la fabricación de tableros viviendas, muebles, entre una gran diversidad de estructuras. En este sentido, se requiere de un incremento en el establecimiento de plantaciones de tipo comercial que además de promover la economía con la generación de materiales de buena calidad, disminuya de manera significativa los índices de deforestación.

2.1.1 Manejo silvicultural de plantaciones comerciales.

El manejo silvicultural en plantaciones comerciales es un campo fundamental para la gestión sostenible de recursos forestales y la producción eficiente de este material de origen vegetal (Vasquez-Miñope et al., 2023). La implementación de prácticas silvícolas adecuadas es esencial para optimizar la productividad (Blackman, 2020). Se deben tener en cuenta variables considerables como estado fitosanitario, bifurcación, daño mecánico, entre otros a la hora de realizar planes de manejo acordes y tempranos a la situación real de la plantación y así poder controlar cualquier tipo de irregularidad. En este sentido, el manejo silvicultural también ofrece diversas ventajas para la gestión sostenible de los recursos forestales. En primer lugar, optimiza el crecimiento y desarrollo de las especies forestales del cultivo, mejorando así la productividad y la calidad de la madera. Además, facilita la regulación de la densidad y la dinámica de la plantación, aumentando la resistencia a plagas y enfermedades (Gomez et al., 2013). Este enfoque también contribuye a la conservación del suelo y del agua, al tiempo que favorece la diversidad biológica. La planificación cuidadosa de las actividades silviculturales en plantaciones comerciales resulta

decisiva para maximizar los rendimientos económicos a largo plazo y minimizar los impactos ambientales negativos.

2.1.2 *Pinus patula Schiede and Deppe in Schlecht. & Cham.*

2.1.2.1 Generalidades. La especie *Pinus patula* Schl. et Cham., proviene de la familia Pinaceae. En el argot común sus nombres son pino llorón, pino colorado y, ocote macho. Su origen, se reportan en regiones subtropicales de México, desde donde ha sido promovida para establecimientos en otras regiones de América. Esto, debido a su alta adaptabilidad a climas y condiciones edáficas variadas, donde logra crecimientos rápidos, aspectos fundamentales para la cadena de valor y comercialización forestal (Alonso et al., 2011). Para Styies & Mccarter (1988), el alto grado de uso de la especie, se da por la trabajabilidad de su madera en la producción de tableros aglomerados, contrachapados, machimbre, estibas y fabricación de papel.

2.1.2.2 Distribución geográfica. Se encuentra en estado natural en rodales puros de México y Sur Oeste de Estados Unidos. Sin embargo, ha sido introducido en Sudáfrica, Rodesia del Sur, Madagascar y Nueva Zelanda. En Colombia, ha generado resultados favorables en el Valle del Cauca, Antioquia, Cundinamarca y Santander donde es plantada desde los 1.5000 a los 3.100 m s.m.m (Muñoz et al., 2010).

2.1.2.3 Descripción morfológica. La especie se caracteriza por tener un porte arbóreo con altura desde los 35 a 40 m con 20 años de edad, tronco cónico, recto y sin bambas. Posee ramas en verticilos, las cuales empiezan a formarse desde la base, aspectos que debe ser objeto de manejo para evitar bifurcaciones bajas. La corteza en árboles jóvenes es delgada y escamosa, de color café rojizo; la cual cambia a medida que los individuos maduran para formar fisuras de color café más oscuro. La estructura foliar corresponde a acículas presentes en grupos de 3 y a 5 que conforman fascículos; cuya longitud promedio es de 15-30 cm, delgadas cortantes, verticalmente caídas, de color verde brillante y de bordes finamente aserrados (Escamilla-Hernández et al., 2020).

2.1.2.4 Características de la madera. La madera, posee una densidad anhidra mediana de $0,46 \text{ g/cm}^3$, es blanda y recién cortada presenta olor agradable a resina, de color ligeramente amarillento. Se seca relativamente bien y permite ser ampliamente utilizada como madera de aserrío (Goche Télles et al., 2011).

2.1.3 Evaluación de calidad de especies forestales.

La evaluación de una plantación, tiene por objeto la aplicación de técnicas para recopilar información de características específicas de la misma. Datos que se exponen a uno o varios análisis dan la base fundamental para escoger acciones oportunas para su manejo adecuado a través de su desarrollo. Esta evaluación, permite una administración del área y del tiempo y se hace necesaria para cada una de las áreas plantadas ya que posiblemente cuente con diferentes condiciones (Telles-Antonio et al., 2022).

Debe existir una apropiada planificación en cada una de las actividades que se propongan para hacerla de la forma más eficiente, de esta manera se evita la pérdida de tiempo, dinero y esfuerzo (Muñoz Flores et al., 2012). La calificación del cultivo de tipo comercial, se orienta a la medición de una muestra o en pocos casos del área total. Se tienen en cuenta características como densidad de árboles, estado fitosanitario, altura, diámetro a la altura del pecho (DAP), estado fitosanitario, daño mecánico, entre otros (Jiménez, 2008).

3 Metodología

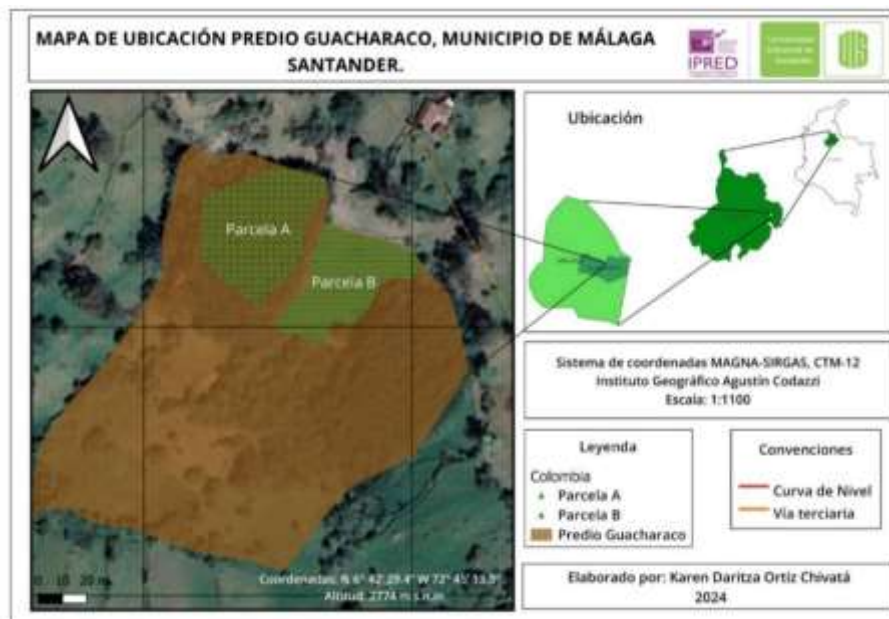
A continuación, se relacionan y describen los métodos y técnicas de análisis empleados para abordar los objetivos establecidos.

3.1 Área de estudio

La propuesta de investigación, se desarrolló en una plantación forestal de *P. patula*, de 0,5 ha plantada distribuidas así: 0,3 ha a 3 x 3 m y 0,2 ha a 2,5 x 2,5 m en sistema tres bolillos, establecida el 13 de Mayo del año 2021 en el predio Guacharaco, Vereda Buenavista, municipio de Málaga Santander **Figura 1**. El área plantada se localiza a N 6° 42' 29.4'' W 72° 45' 13.3'', sobre 2774 m s.n.m, con una precipitación promedio de 2.500 mm/año y temperatura media de 17°C. Los suelos corresponden a Andisoles, con pendiente entre 15 al 30% (IGAC, 2014), de textura Franco Arenosas.

Figura 1.

Área de estudio



3.2 Métodos

3.2.1 Evaluación de calidad.

La evaluación de calidad de la plantación forestal, tuvo como fin conocer las condiciones actuales de desarrollo y crecimiento de cada uno de los individuos, a partir de la puntuación de variables cuantitativas y cualitativas. Para el estudio, fue adaptada la propuesta de Murillo & Camacho (1997), quienes plantean un esquema de evaluación para cultivos forestales recién establecidos, aspecto que para la edad de la plantación es adecuado. La recolección de los datos se realizó dos veces, la primera en el mes de septiembre y una final, en el mes de enero del año 2023 en donde la plantación contaba con 2.1 años de establecimiento. Las variables seleccionadas se relacionan a continuación **Tabla 1**.

Tabla 1.

Variables, evaluación calidad plantación forestal.

Variable	Tipo
Circunferencia del tallo	Cuantitativa
Altura total	Cuantitativa
Inclinación	Cualitativa
Rectitud del fuste	Cualitativa
Número de verticilos	Cualitativa
Ángulo inserción de ramas	Cualitativa
Estado fitosanitario	Cualitativa
Manejo de arvenses	Cualitativa
Bifurcación	Cualitativa
Plateo	Cualitativa
Daño mecánico	Cualitativa
Calidad	Cualitativa

Cada una de las variables de la tabla 1, se midió y registró en planillas de campo por individuo, para esto, se empleó una escala de puntuación general para las variables cualitativas;

cuyo intervalo inicial es 1, equivalente a la menor puntuación de la variable, y 3 con la máxima puntuación. La calificación, sólo tuvo en cuenta valores absolutos.

3.2.2 *Recolección de datos dendrométricos.*

La recolección de los datos dendrométricos como Diámetro a la Altura del pecho (DAP en cm) y altura total (HT en m), fueron registrados en un periodo de 6 meses con intervalos de medición cada 15 días, para un total de 12 mediciones de cada variable. En el caso de HT, el instrumento utilizado para la medición fue la mira topográfica, que permitió aumentar la precisión. Para la variable diámetro, a 0,30 m de altura (d_{30}), parámetro asumido a criterio técnico de los autores del estudio; por considerar que a esta altura se tiene conforme una estructura del tallo para el alcance del estudio; se utilizó un pie de rey, ubicado a 0,30 cm del suelo, parámetro asumido a criterio técnico de los autores del estudio; por considerar que a esta altura se tiene conforme una estructura del tallo para el alcance del estudio.

3.2.3 *Recolección de muestras de suelo.*

Se consideran como factores externos, aquellos que influyen en el crecimiento y dinámica de la plantación. Para el estudio, se realizó la caracterización del suelo mediante la toma de 20 muestras simples a 30 cm de profundidad en cada lote. Estas, posteriormente fueron analizadas en aspectos físicos y químicos como: densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), contenido de humedad (H), textura (T), porosidad (Pt) y potencial de hidrógeno (pH) **Tabla 2**.

Tabla 2.

Parámetros físicos y químicos del suelo analizados

Parámetro	Unidad	Método
Potencial de hidrógeno (pH)	N/A	pHmetro solución buffer 7.0
Textura (T)	%	Bouyoucos
Densidad aparente (Da)	g/cm ³	Relación masa/volumen cilindro
Densidad real (Dr)	g/cm ³	Picnómetro
Porosidad total (Pt)	%	Relación Da – Dr
Contenido de humedad (H)	%	Relación masa/Volumen

Nota: La tabla muestra el método utilizado en laboratorio para identificar cada uno de los parámetros.

3.3 Modelo de crecimiento

El modelo de crecimiento propuesto para la especie en cada una de las parcelas, fue construido como se describe a continuación:

3.3.1 Selección ecuación de volumen.

Inicialmente se realizó la comparación de cuatro ecuaciones de volumen, para establecer cual, de estas alternativas, refleja mejor los valores de volumen en cada una de las parcelas establecidas **Tabla 3**. Para esto, fueron estimados los valores de volumen según las variables observadas de altura (HT) y Diámetro a la altura del pecho (DAP) para todos los individuos. Luego se construyó el diagrama de cajas y bigotes a partir del cual fue seleccionada la alternativa con la mejor distribución de los datos estimados.

Tabla 3.

Ecuaciones de volumen referentes para modelo de crecimiento

Nombre	Ecuación
Ladrach (1978)	$Vol = -0,0034042 + 0,000031 * (d^2 * h)$ Donde: d. Diámetro observado cm h. Altura observada cm
Compañía Nacional de Reforestación (1985)	$Vol = 0,0065301 + 0,0000355 * (d^2 * h)$ Donde: d. Diámetro observado cm h. Altura observada cm
Schumacher - Hall (1979)	$Vol = -2,23306 + 1,6257 * \ln d + 1,2248 * \ln h$ Donde: d. Diámetro observado m h. Altura observada m
Smallian (1978)	$Vol = AB * Ff * H$ Donde: AB. Área basal en m ² H. Altura observada m Ff: Factor de forma 0,524 para <i>P. patula</i>

3.3.2 Estimación volumen observado de referencia

Con los datos observados en cada una de las parcelas, se procedió a estimar el volumen según la ecuación que mejor distribución presentó respecto de las relacionadas en la **Tabla 3**. Este paso metodológico, permitió identificar diferencias iniciales del volumen total respecto de la densidad de

siembra en cada una de las parcelas asumidas para el estudio como tratamiento. El tiempo de análisis asumido para este paso del estudio fue de 4 años.

3.3.2.1 Ajuste de modelo de crecimiento. El ajuste del modelo crecimiento para *P. patula* en el municipio de Málaga, se realizó a partir de dos modelos. Uno exponencial y otro logístico, seleccionados debido al tamaño de la base de datos construida para el estudio.

Tabla 4.

Modelos de crecimiento evaluados

Modelo	Ecuación
Exponencial	$Y = a * Exp^{(b*x)}$
	Donde: Y: Volumen estimado en m ³ a, b: Parámetros x: Tiempo de estimación
Logístico	$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + Exp^{(a-b*t)}}$
	Donde: C/C ₀ : Volumen estimado en m ³ a, b: Parámetros t: Tiempo de estimación

Este proceso metodológico, estuvo soportado por el paquete estadístico epift-ter de R, que permite el ajuste de modelos mediante regresión lineal. También, el paquete permitió estimar el valor de *K* asumido como la proyección máxima de volumen en las dos parcelas. Finalmente, generó una salida grafica en ggplot con el respectivo ajuste a través del comando `ft_lin()`, `ft_nlin()` y `ft_nlin2()` (Alves & Del Ponte, 2021).

3.3.3 *Predicción del volumen en el tiempo*

Finalmente, se realizó la predicción de volumen en el tiempo para las dos parcelas. Para esto, se definió una ventana de tiempo de cuatro años, por el tamaño de la base de datos cuya cantidad en valores registrados; no permitía ampliar el tiempo de predicción. Esta predicción, se elaboró a partir del modelo de crecimiento de la **Tabla 4** que mejor R^2 y RMSE presentara.

3.4 Acciones de mejora

Las informaciones aportadas de los productos previos, permitieron definir el esquema inicial de manejo silvicultural para la plantación forestal en cada una de las parcelas a 7 años, tiempo definido por la cantidad de información primaria disponible. Lo anterior, sobre un escenario actual y potencial de intervenciones silviculturales, un aspecto con varios referentes genéricos para el país y la región por la plasticidad de la especie. Sin embargo, por el alcance del estudio, se buscó que este manejo silvicultural sea un modelo preliminar a escala local, y de oferta ambiental para el municipio de Málaga en el departamento de Santander.

3.5 Análisis relación suelo en cada tratamiento.

Las variables edáficas de suelo fueron analizadas por medio de una prueba estadística ANOVA ($P < 0,05$), para identificar diferencias significativas entre parcelas. Luego, para establecer niveles de influencia de los datos del suelo (variables físicas), respecto del volumen proyectado, se aplicó una correlación de Pearson.

4 Resultados

A continuación, se presentan los resultados del estudio generados por el desarrollo metodológico previamente definido.

4.1 Calidad de la madera plantación comercial

La evaluación de calidad de la madera en las parcelas, mostró en B (2.5 m x 2.5 m) un comportamiento superior respecto de A (3 m x 3 m). En tal sentido, el distanciamiento y densidad de siembra; se reconocen como aspectos silviculturales relevantes en la producción y calidad de la madera, esto para las condiciones de oferta ambiental y establecimiento del cultivo en la finca el Guacharaco. El 50% de las variables en B (In, N.ver, B, Pl y C), aumentaron la calidad de la madera respecto a la primera medición, y en A el 90% (In, N.ver, Ins.ram, Ef, Af, B, Pl, Dm y C) presentaron mejoras, sin embargo, la valoración general fue superior un 13,9% en B.

En la parcela A, Rec, N.ver, y Arv presentaron alto grado de variación respecto de sus medias en las dos mediciones de campo. Situación debida posiblemente al ataque de *Sphaeropsis sapinea* (parásito oportunista), y arvenses agresivas en el año 1 del cultivo, según comunicación personal con el propietario. En tal sentido, los valores obtenidos para esta parcela en estas variables, pueden comprometer la calidad de trozas, más aún en el contexto del distanciamiento comúnmente empleado para la producción de madera. Para B, la mayor variación se dio en Rec, Ins.ram y C, en este caso, la distancia de siembra se reconoce como causa de este patrón al interior de la parcela.

En términos generales, (In.ram y Rec) se identificaron como las variables que mayor afectación causan a la madera respecto de su calidad. Específicamente, (In.ram) con el 51% en A, y el 57% en B reflejaron este panorama no favorable, donde el aumento en cantidad, tamaño y forma de nudos, y el asocio de estos a torceduras del tallo; promueven ángulos de inserción de

formas ovaladas no adecuados en cultivos forestales comerciales. Para (Rec) los resultados se concentran en un rango del 20% al 42% en A y B respectivamente, considerado por los autores como alto para un cultivo forestal con las características de distanciamiento estudiadas.

El área de ocupación por individuo mostró en la parcela A plantada a 3 x 3 m un valor 30% mayor respecto de B. Resultado, que confirma las bondades del distanciamiento situación que a futuro puede influir sobre el área basal y las decisiones silviculturales a tomar para optimizar la calidad de la madera y los aspectos económicos del cultivo al final del turno.

Tabla 1.

Evaluación de calidad en plantación de Pinus patula.

Parcela	Inclinación (In)	Rectitud (Rec)	Número de verticilios (N.ver)	Ángulo de inserción de las ramas (Ins.ram)	Estado fitosanitario (Ef)	Arvences (Arv)	Bifurcación (B)	Plateo (Pl)	Daño mecánico (Dm)	Calidad	Área por árbol m ² /ha
A 41	6,52	7,30	9,72	2,84	8,65	2,62	7,23	8,42	8,58	69,39	9
	,44	,53	,62	,21	,532	,65	,64	,31	,12		
	4,33	7,45	9,50	4,823	6,45	4,40	8,58	5,82	9,29		
	,34	,64	,59	,58	,19	,70	,19	,35	,08		
B 33	5,11	8,41	3,04	3,219	6,57	7,42	8,28	2,27	00,00	83,36	6,25
	,46	,36	,71	,47	,31	,19	,26	,27	,00		
	5,28	9,40	1,11	4,292	3,56	00,00	00,00	6,57	8,28		
	,26	,61	,39	,60	,29	,00	,00	,18	,21		

Nota: Consolidado evaluación de calidad de la madera por parcela. Las variables se clasifican así: Inclinación (In), Rectitud (Rec), Número de verticilios (N.ver), Ángulo de inserción de las ramas (Ins.ram), Estado fitosanitario (Ef), Arvences (Arv), Bifurcación (B), Plateo (Pl), Daño mecánico (Dm) y calidad en general (C).

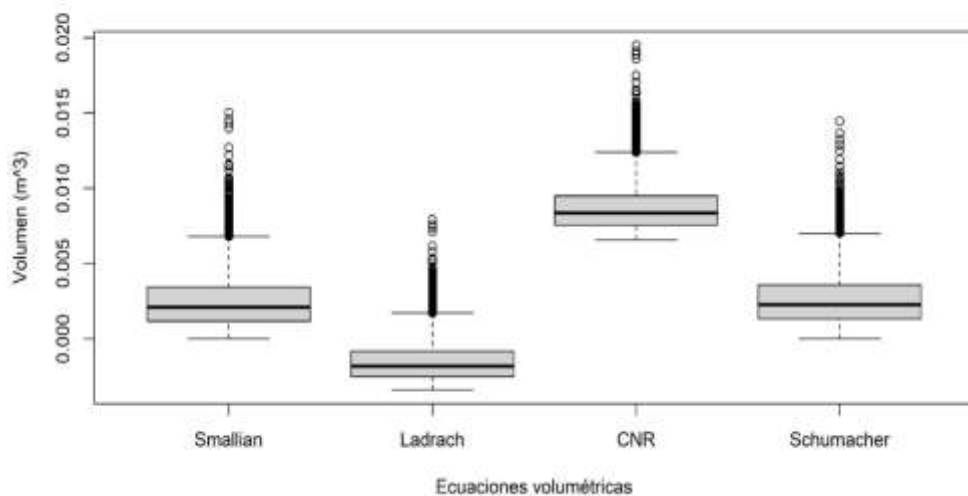
4.2 Patrón de crecimiento para *P. patula* en Málaga – Santander.

4.2.1 Ecuación de volumen seleccionada.

La **Figura 2**, muestra el patrón de dispersión de las cuatro ecuaciones empleadas para estimar el volumen inicial de los 477 individuos, de los cuales el 39% fue establecido en A, y el restante 61% en B. Los diagramas de cajas, indican una subestimación del volumen en la ecuación propuesta por (Ladrach). Contrario al caso de ecuación (CNR) de Compañía Nacional de Reforestación donde se presentó una sobrestimación del volumen. Los resultados obtenidos para las ecuaciones (Smallian y Schumacher), mostraron similitud en la estimación del volumen, sin embargo, (Smallian) arrojó más valores atípicos que su par de contraste. Lo anterior, asociado a ser una propuesta de menor rigor matemático; y dependiente de una variable generalizada como el factor de forma de la especie en estudio. En tal sentido, fue seleccionada la ecuación de (Schumacher) que explico de mejor manera el volumen en función de las variables observadas en campo DAP y HT.

Figura 2.

Diagrama de cajas para volumen inicial estimado

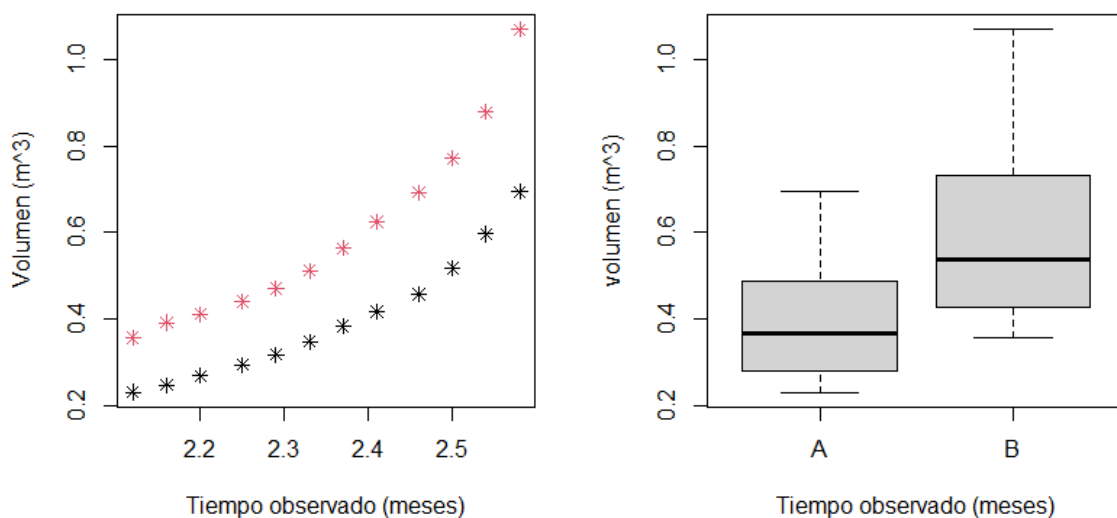


4.2.2 Estimación volumen observado por parcela

Los resultados de volumen estimado a partir de la ecuación (Schumacher), mostraron diferencias de esta variable de crecimiento en las dos parcelas. El volumen en B, se estimó en un rango entre 0,00002423 a 0,01502 m³, con una media de 0,0242 m³. En A, el rango fue de 0,000006 m³ a 0,01430 m³ con una media de 0,002273 m³. En tal sentido, se ratifica la incidencia de la densidad; y la distancia de siembra en cultivos forestales sobre el incremento en volumen de madera como variable representativa de este tipo de usos del suelo **Figura 3**.

Figura 3.

Volumen total observado por parcela P. patula Málaga – Santander.



4.2.3 Ajuste modelo de crecimiento por parcela P. patula

Los modelos de crecimiento exponencial y logístico mostraron ajustes diferentes respecto del crecimiento. En tal sentido, la línea de tendencia en el modelo exponencial, obtuvo mejor ajuste (R^2 y RMSE) respecto del modelo logístico en las dos parcelas **Tabla 5**. Los resultados de las dos parcelas en el modelo exponencial, permiten una predicción más cercana a la realidad espacial y temporal del cultivo forestal, según el factor análisis (distancia de siembra) estudiado.

Para el modelo logístico, los resultados estimados en la parcela A fueron similares al exponencial, como lo soporta el R^2 . En cambio, la parcela B reflejo un bajo ajuste al modelo respecto de la tendencia del volumen observado. Resultados, asociados al uso de tasas de crecimiento generadas por *epifiter* del modelo logístico **Figura 4**.

Figura 4.

Ajuste modelo exponencial y logístico por parcela.

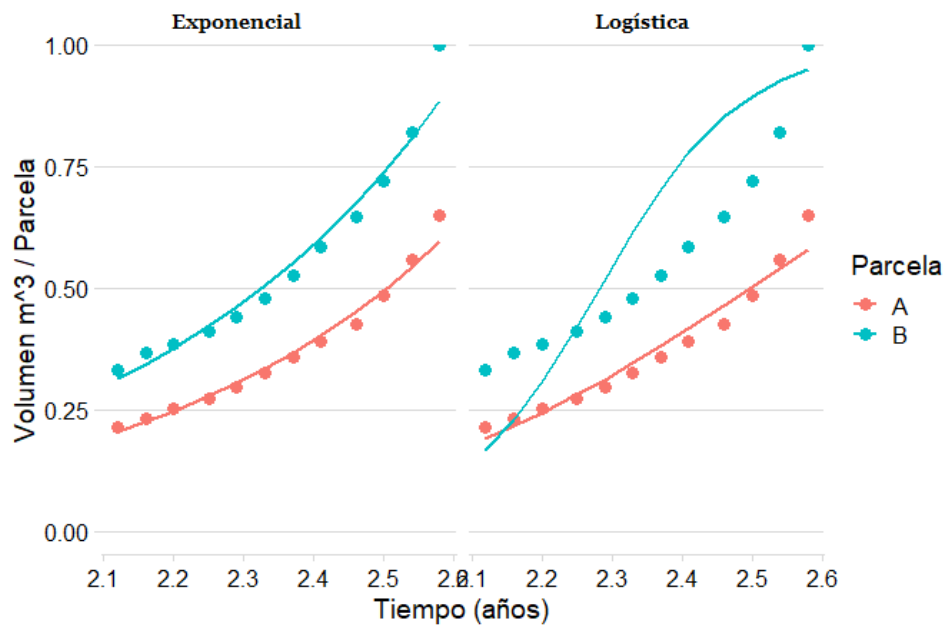


Tabla 5.

Parámetros de referencia ajuste modelos de crecimiento P.patula

Parcela	Modelo	r	R ²	RMSE	Parámetros a y b
A	Exponencial	0,993	0,987	0,420	0,015 - 0,025
B	Exponencial	0,974	0,950	0,138	0,0073 - 0,0045
A	Logístico	0,986	0,974	0,058	0,0027 - 0,0016
B	Logístico	0,682	0,518	0,508	0,00000000017 - 0,00000000028

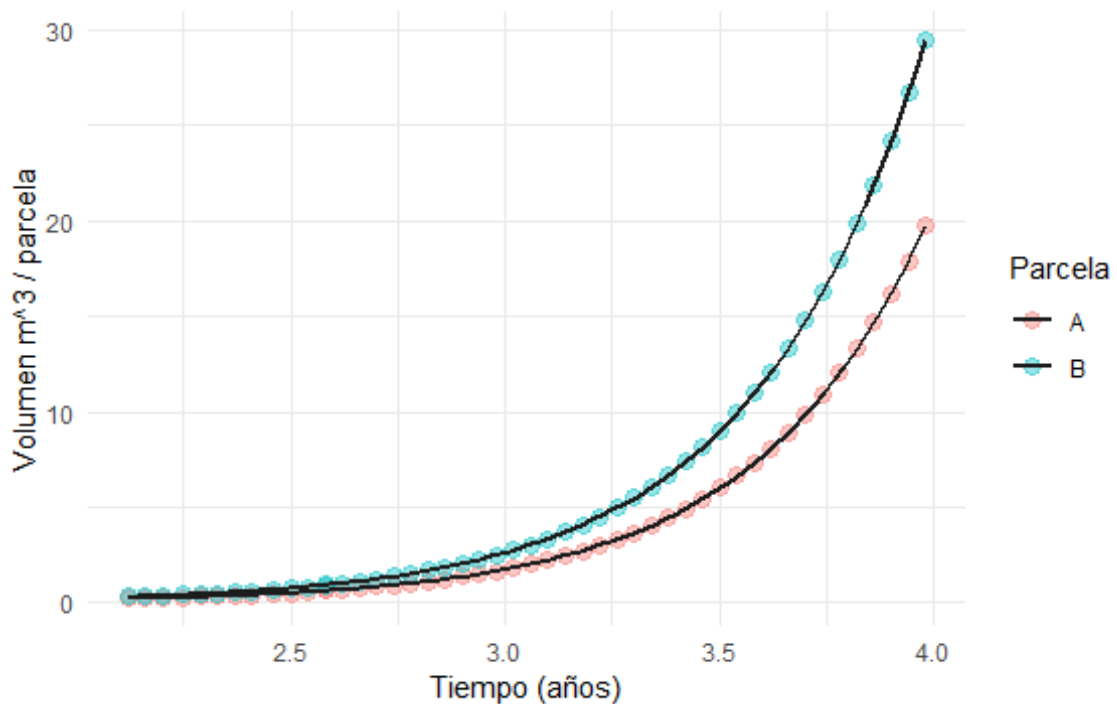
4.2.4 Volumen proyectado por parcela P. patula

Los valores iniciales observados del volumen en las dos parcelas, permitieron proyectar esta variable en una ventana de tiempo de 4 años. La parcela A obtuvo un valor máximo de

volumen de 19,78 m³ al año cuatro proyectado con una media de 4,33 m³. En B, la proyección de volumen en el mismo periodo de tiempo fue de 29,5 m³ y una media de 6,47 m³. La **Figura 5**, muestra comportamiento similar de bajo rendimiento en volumen para las dos parcelas entre el año 1 a 2.6, tiempo a partir del cual, el modelo exponencial indica un cambio en la tendencia de crecimiento aspecto relevante para establecer las acciones de mejora referidas en el producto final del estudio.

Figura 5.

Volumen de P. patula proyectado por parcela municipio de Málaga – Santander



4.3 Incidencia condiciones del suelo sobre el crecimiento.

El análisis de varianza, mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en Pt y H en las parcelas A y B. Las restantes propiedades del suelo incluídas, fueron iguales en las unidades de muestreo

Figura 6.

Anova de un factor para Pt y H en suelos con P. patula

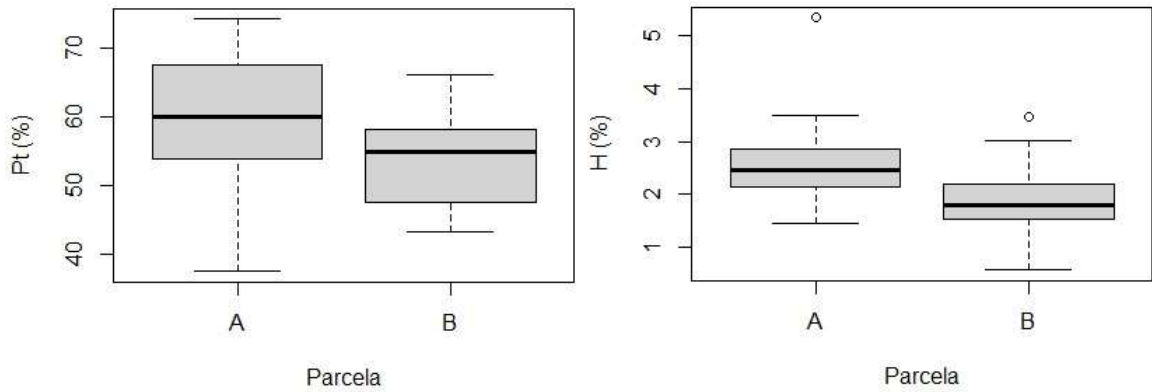
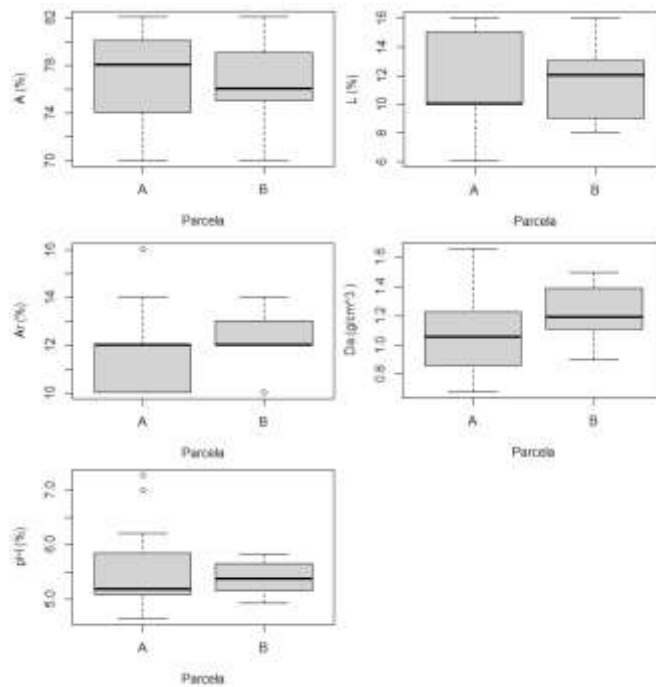


Figura 7.

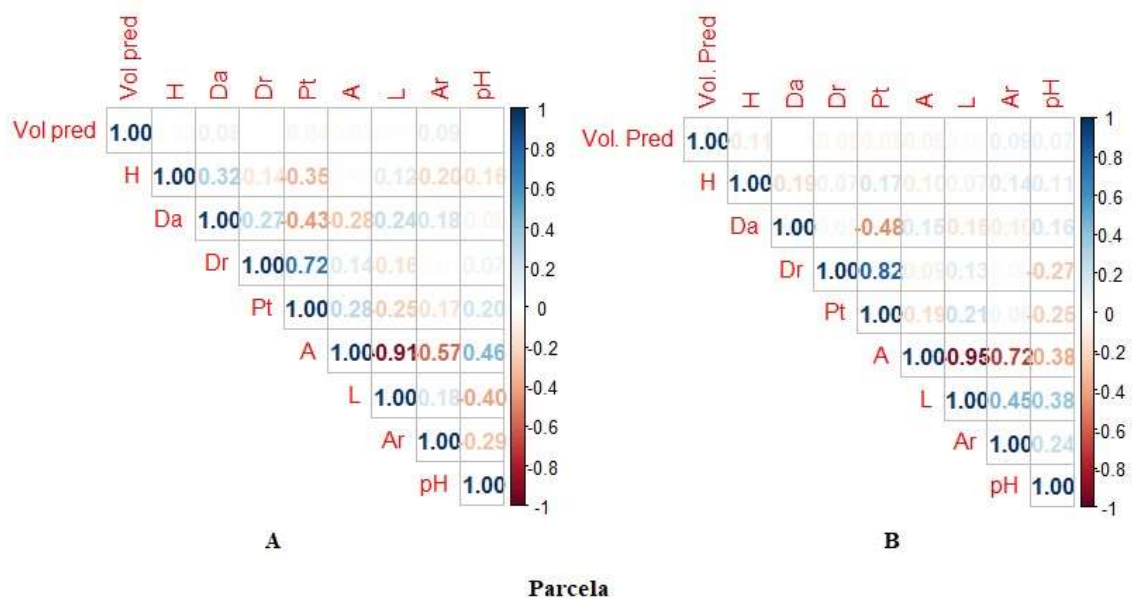
Anova de un factor para A, L, Ar, Da y Dr en suelos con P. patula



La correlación de Pearson, no reflejo para ninguna de las parcelas relaciones fuertes directas o indirectas de las propiedades del suelo respecto del volumen proyectado. Los resultados solo reflejan niveles de influencia entre propiedades del suelo, por tanto, se establece qué, para las condiciones de estudio y alcance del mismo estos atributos edáficos no inciden sobre el desarrollo y crecimiento de los árboles plantados Figura 8

Figura 8.

Correlograma de Pearson para volumen proyectado y variables edáficas



4.4 Acciones de mejora.

Las acciones de mejora permiten que la plantación forestal cuente con los mínimos técnicos que contribuyan al desarrollo y crecimiento de los árboles establecidos. El tal sentido, los resultados preliminares obtenidos del estudio, trazaron una línea base a 7 años de trabajo silvicultural en cada una de las parcelas. Para la parcela A, se definió fertilización en el año 1 y 5, poda de formación con límite máximo al año 3, seguido de la primera entresaca al año 4 con una intensidad del 7% y una segunda entresaca al año 7 del 20% de intensidad. Estos valores corresponden a la proyección de la parcela sobre una densidad de

144 árboles **Figura 9**. En el caso B, las intervenciones son iguales que A, solo la entresaca varia para ser ejecutada en el año 5 con una intensidad del 20% **Figura 10**. En el caso de las podas de formación para las dos parcelas, se mantienen el principio de relación 50% tallo y 50% copa. Se estima, que al año 3 en A la altura tendría una media de 6 m y al año 7 de 9 m.

Figura 9.

Proyección manejo silvicultural P.patula parcela A

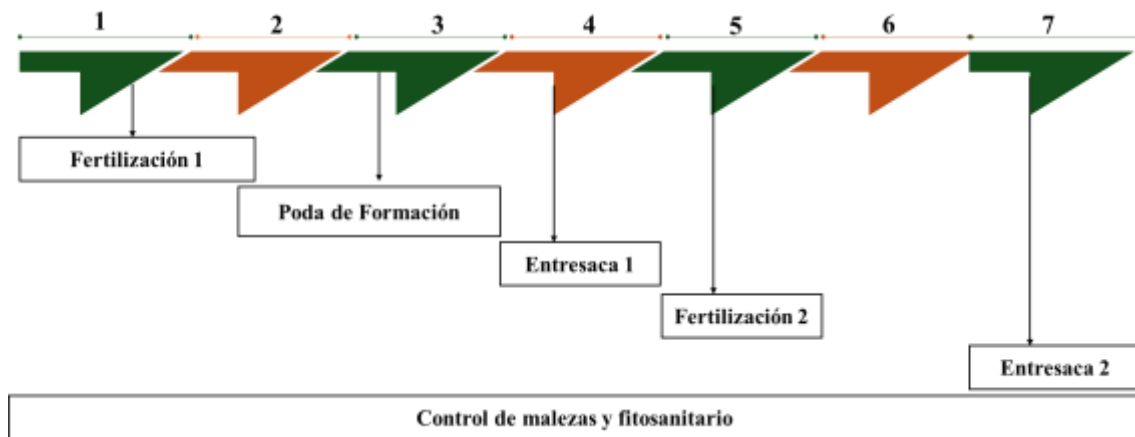
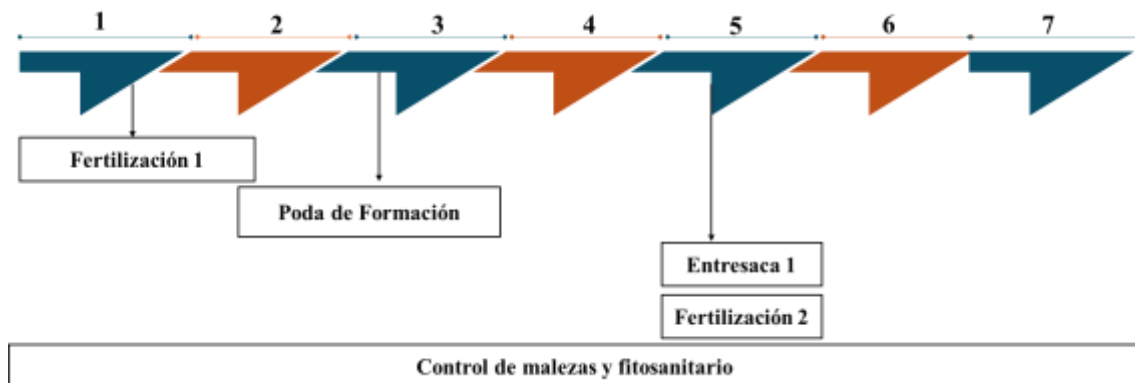


Figura 10.

Proyección manejo silvicultural P. patula parcela B



Referente de la fertilización, se sugiere que sean aplicados productos agroquímicos de (NPK), para el estudio, se definió como dosis base 150 g/árbol para el año 3 y la segunda

fertilización sobre un mínimo de 200 a 250 g/árbol. Datos relacionados por los requerimientos de la especie, e informaciones preliminares de propiedades químicas del suelo consultadas para la zona. Los valores proyectados para las entresacas, corresponde al reflejo inicial de la calidad en las dos parcelas, donde se identificaron individuos de reducida calidad en las variables analizadas. Finalmente, el control de malezas junto con el fitosanitario, son definidos como actividades transversales al ciclo de vida de la plantación, más aún, en suelos con historial de pastos como el caso de las parcelas estudiadas.

5 Discusión

La condición de calidad de las dos parcelas, vario en el intervalo de medición de las variables seleccionadas, donde se validó la importancia de esta metodología, cuyos datos en edades tempranas son un importante insumo de trabajo silvicultural. En tal sentido Rojas & Murillo (2000) destacan la relevancia de integrar evaluaciones calidad al ciclo de vida de la plantación forestal, un aspecto, que nuestros resultados confirman; al mostrar como una plantación forestal comercial en edades menores a cinco años, puede presentar problemas que solo una evaluación de calidad refleja. Estos autores, en plantaciones establecidas en Costa Rica reportan valores de bifurcación bajos, contrario a los obtenidos, donde esta variable presento cambios en las dos parcelas. Estudios similares de Rodríguez (2008) en plantaciones forestales, reportan inclinaciones fuertes en más del 60% de lotes establecidos, diferente de lo obtenido para la zona de estudio, donde la inclinación fue menor al 30%. Por último, los resultados de calidad aportados concuerdan con Briggs (2010), sobre el interés de los mercados de la madera por comercializar productos de alta calidad, algo, que solo es posible desde las evaluaciones iniciales de los cultivos forestales; a partir su establecimiento y las prácticas silvícolas aplicadas.

Respecto de la densidad de siembra, Muñoz et al., (2011) reportan diferencias en desarrollo de altura, al evaluar cultivos forestales en distanciamientos de 2,5 x 2,5 m y 3.0 x 30 m, contexto de estudio similar al nuestro, donde también, se validó la incidencia de esta característica del establecimiento en los estimados de volumen total por parcela. Resultados que igualmente confirma Patiño (1995), quien ratifica la influencia del espaciamiento en el crecimiento de diámetro en actividades forestales comerciales.

El volumen de las dos parcelas, mostró un patrón de incremento en el tiempo para *P. patula* en el municipio de Málaga. Lo anterior, aplicado a un modelo de crecimiento exponencial que mejor ajuste presentó al volumen observado. Sin embargo, Beteta-Montaña et al., (2022) sugiere usar la ecuación de Chapman-Richards para este tipo de trabajos. En nuestro caso, esta ecuación no fue empleada por tratarse de un estudio preliminar donde la base de dato no tenía la dimensión necesaria para la robustez para arrojar valores coherentes respecto de los parámetros que la integran. El modelo logístico empleado, no fue reportado por otros estudios en *P. patula*, sin embargo, autores como Alvez & Del ponte (2021) usan este modelo para evaluar patrones crecimiento en aspectos fitosanitarios, algo distante del alcance propuesto. En tal sentido, Telles-Antonio et al, (2022) aclaran que el crecimiento puede ser medido en diferentes niveles, con base en la estructura del árbol mediante variables dendrométricas como el volumen que fue empleado para el presente estudio. Los resultados aportados, visualizan este aspecto para *P. patula* en Santander, lo que concuerda con Torres-Rojo & Magaña (2001), quienes estudiaron la importancia de conocer las existencias volumétricas de una plantación, no solo para conocer la disponibilidad de madera, sino planificar las intervenciones silviculturales, algo que los resultados acá presentados, validan en dos parcelas donde los tiempos de intervención marcaron la diferencia del manejo. Finalmente, la propuesta de manejo silvicultural proyectada a siete años es una línea base de gestión forestal a escala local, sin embargo, es necesario que los trabajos referidos tengan la planificación técnica adecuada; como lo mencionan Pastor-Martínez et al., (2024) quienes para especie *P. patula* en México, observaron los efectos en diferentes porcentajes de poda, y concluyen que esta labor no debe superar el 50% de la altura total; como fue establecido en los resultados presentados. Por último, las variables de suelo integradas al estudio no

reflejaron algún grado de influencia sobre el volumen proyectado, situación que West (2014) confirma al reportar que plantaciones jóvenes como las estudiadas dependen en gran medida de un buen desarrollo cuando el suelo cuenta con óptimos de propiedades químicas.

6 Conclusiones

La evaluación de calidad confirma la importancia del manejo silvicultural en edades tempranas a cultivos forestales, donde se incrementa el nivel de afectación y vulnerabilidad a diversos problemas de crecimiento como los resultados lo reflejan, por tanto, consideramos que estas metodologías sin una herramienta de campo que genera informaciones sobre las cuales a futuro pueden incidir para una balanza financiera positiva de la madera.

La metodología aplicada en el estudio permitió obtener una evaluación detallada de las condiciones del lugar en función de la calidad. También puede ser utilizada en condiciones de muestreo por parcelas, en plantaciones de mayor extensión con el fin de tomar acciones en su manejo.

La implementación de plantaciones forestales comerciales no es sólo una necesidad sino un reto para el productor, debido a que los estudios realizados en su mayoría se han centrado en pocas especies y en lugares determinados. La producción de madera no puede generalizarse únicamente a condiciones de especie sino también a condiciones de lugar.

El modelo exponencial, se convierte en una alternativa para conocer patrones de crecimiento en cultivos forestales comerciales, en edades tempranas, sin embargo, valoraciones en periodos de tiempo mayores a tres años deben integrar modelos como logístico por las bondades del ajuste respecto del árbol adulto y su tendencia sigmoideal.

7 Recomendaciones

Dar continuidad a la toma de datos, con intervalos de tiempo mayores a los definidos en el presente estudio, con el fin, de ajustar las predicciones a periodos de tiempo más amplios, que permitan evaluar la calidad, y el crecimiento de la especie, en las dos unidades de muestreo establecidas.

Evaluar otras variables del suelo como las químicas, para establecer un referente desde el aspecto nutricional en función del crecimiento. Lo anterior, integrado igualmente a mediciones de calidad con intervalos temporales mínimos de un año durante otros tres años.

Adelantar este tipo de estudios, en otras especies comerciales forestales presentes en la provincia García Rovira, como *Eucalyptus globulus* y *Cupressu lusitanica* cuyas áreas establecidas en la región no cuentan con este tipo de información que permitan comprender su ciclo productivo.

Referencias bibliográficas

- Alonso, S., Restrepo, H., del Valle, J., & Salazar, J. (2011). Rendimiento, turno óptimo forestal y rentabilidad de plantaciones forestales de *Tectona grandis* en Colombia (Vol. 37, Issue 1).
- Alves, K. S., & Del Ponte, E. M. (2021). Analysis and simulation of plant disease progress curves in R: introducing the epifitter package. *Phytopathology Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s42483-021-00098-7>
- Beteta-Montaña, E., Wenceslao-García, S., Rodríguez-Ortiz, G., Suárez-Mota, M. E., Aquino-Ramírez, M., Nava-Nava, A., & Ruiz-Aquino, F. (2022). Fit and validation of models for growth of dominant height and site indices for *Pinus oaxacana* in Southern Mexico. *Bosque*, 43(3), 329–346. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000300329>
- Blackman, A. (2020). Florestas da América Latina e Caribe na década de 2020: Tendências, Desafios e Oportunidades.
- Briggs, D. (2010). Enhancing Forest Value Productivity through Fiber Quality. *Review*, 1–9.
- Calderón, E., Galeano, Gloria., García, N., Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales--Museo de Historia Natural., & Colombia. Ministerio del Medio Ambiente.

(2002). Libro rojo de plantas fanerógamas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Calvo, R. (1995). ¿Es una plantación forestal un bosque?

Cansino, J. (2012). Dendrometría básica.

CONIF. (2007). Zonificación Forestal para el Departamento de Santander Colombia (Vol. 1).

CONPES. (2020). Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques.

Corporación Nacional Forestal. (2013). Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales.

DANE. (2023). Boletín técnico. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por->

Denegri, G., Aguerre, M., & Acciaresi, G. (2021). La expansión de las plantaciones forestales y su incidencia en la reducción de la superficie de bosques nativos en tres regiones de la república de Argentina. *SaberEs*, 13(2), 1–22. <http://orcid.org/>

DNP. (2018). Lineamientos y Directrices de Ordenamiento Territorial del Departamento de Santander.

Escamilla-Hernández, N., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J., Villegas-Monter, Á., & López-López, M. (2020). Vegetative propagation of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. in different substrates. *Fitotec*, 1–8.

FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. In *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

FAO. (2022). Global forest sector outlook 2050: Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy. In *Global forest sector outlook 2050: Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2265en>

Goche Télles, J. R., Velázquez Martínez, A., Borja De La Rosa, A., Grande, J. C., & Mendoza, C. P. (2011). Radial variation of basic density in *Pinus patula* Schltdl. et Cham. in three locations from Hidalgo. In *Rev. Mex. Cien. For* (Vol. 2, Issue 7).

Gomez, C., Vallejos, N. C., & Manna, L. La. (2013). Distribution and characterization of damage caused by *Pissodes castaneus* in *Pinus* spp. plantations. from the Andean Patagonian region of Argentina. *Bosque*, 34(3), 343–351. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000300010>

Held, C., Meier-Landsberg, E., & Alonso, V. (2021). Un análisis de la oferta y la demanda futuras de maderas tropicales y su contribución a una economía sostenible (Vol. 49). www.itto.int

- Hynynen, J. (2022). Conceptos básicos para la modelación del crecimiento forestal. In Recursos naturales y ambientales .
- Jiménez, C. (2008). Quality and assessment of forest plantations: practical application in five *Vochysia guatemalensis* Donn plantations. YE. (bait) in the North and Atlantic areas of Costa Rica.
- Johnson, E., & Puettman, K. (2016). Forest dynamics. In F1000Research (Vol. 5, pp. 1–10). Faculty of 1000 Ltd. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7412.1>
- Ladrach, W. (2005). Plantaciones forestales y la fauna silvestre.
- Marín, L. (2019). Plantaciones comerciales en Colombia: Mas allá de los métodos de financiación tradicionales.
- Minagricultura. (2023). Boletín estadístico forestal. <https://fedemaderas.org.co/boletin-forestal-2023/>
- Monroy, C. (1997). Evaluación de crecimiento y productividad de *Pinus patula* Achl. et Cham., en la región de Huayacocotia, Veracruz, México.
- Muños, J., Orozco, G., Coria, V., García, J., Muñoz, Y., & Salvador, G. (2011). Evaluation of *Pinus pseudostrobus* Lindl. and *Pinus greggii* Engelm. Two planting densities in

- Michoacan, Mexico. *Foresta Veracruzana*, 13, 29–35.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49719786005>
- Muñoz Flores, M., Jesús, H., Avalos, C., Manuel, V., Sánchez, G., Jesús, J., Bautista, V., & Molina, M. (2012). Assessment of a *Pinus greggii* Engelm. Plantation with two different spacings. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(11), 57–70.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438972005>
- Muñoz, J., Orozco, G., Coria, V., & García, J. (2010). Factores ambientales de *Pinus patula* Schl. et Cham. y su adaptación a las condiciones de la sierra Surépecha, Michoacán. *Foresta Veracruzana*, 1–8. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49719770005>
- Murillo, O., & Camacho, P. (1997). Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. In *Agronomía Costarricense* (Vol. 21, Issue 2).
- Musálem, M. Á. (2006). *Silvicultura de plantaciones forestales comerciales* Universidad Autónoma de Chapingo.
- ONF. (2018). *Forest studies in the framework of the Green Growth Taskforce in Colombia*.
- ONU. (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. In *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

Pastor-Martínez, U. E., Velázquez-Martínez, A., & Gil-Vera, J. A. (2022). Effect of pruning in young *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. plantations of in the ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 30. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.10.077>

Patiño, F. (1995). El espaciamiento en plantaciones forestales. *Ciencia Forestal En México*, 20, 1–33. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1023>

Penagos, M., Hernández, R., Restrepo, E., Rincón, A., Sánchez, F., Urrego, J., Rodas, C., Ramírez, C., & Riaño, N. (2011). Guían silviculturales para el manejo de especies forestales con mira a la producción de madera en la zona andina de Colombia.

Pérez, J., Barrera, R., & Ramírez, G. (2015). Integración de plantaciones forestales comerciales en Colombianas en conceptos de biorefinería termonquímica: una revisión. *Colombia Forestal*, 18(2 Preprint), 1–23. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a07>

Prado, J. (2015). Beyond the trees.

Reyes Moreno, G., Barrientos Fuentes, J. C., & Darghan Contreras, E. (2022). Economic efficiency of biochar as an amendment for *Acacia mangium* Willd. Plantations. *Agronomía Colombiana*, 40(1), 33–41. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n1.96330>

- Rivera, A. (2011). When you Cannot See the Forest for the Trees: Effect of Forest Monocultures on Biodiversity Conservation. In *Acta biol. Colomb* (Vol. 16, Issue 2).
- Rodríguez, C. (2008). Calidad y valoración de plantaciones forestales: aplicación práctica en cinco plantaciones de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. (cebo) en las zonas Norte y Atlántica de Costa Rica.
- Rodriguez, E. (1996). Algunas consideraciones sobre la controversia de la reforestación con especies introducidas en Colombia. *Federacafé-KfW*, 1–18.
- Rojas, O., & Murillo, O. (2000). Calidad de las plantaciones de teca en la Península de Nicoya, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 24(2), 65–75.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43624207>
- Salgado, R. (2014). Deforestacion. *Saber Más* , 31.
- Styies, B. T., & Mccarter, P. S. (1988). The Botany, ecology, distribution and conservation status of *Pinus patula* ssp. *tecunumanii* in the republic of Honduras.
- Telles-Antonio, R., Jiménez Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, J. (2022). Crecimiento y rendimiento de plantaciones forestales: Un análisis del estado actual de las tendencias mundiales. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* , 1–15. <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.987>Artículo Científico

Torres-Rojo, J., & Magaña, O. (2001). Evaluación de plantaciones forestales.

Vásquez, J. M. (2023). Reindustrialización y sostenibilidad: La cadena de madera.

Vasquez-Miñope, C., Sulca-Gamboa, K., & Cuellar-Bautista, E. (2023). Growth, Productivity, and Silvicultural Indicators in Young Plantations of *Tectona granáís* L.f. in Peru. *Colombia Forestal*, 26(1), 79–91. <https://doi.org/10.14483/2256201X.19158>

West, P. W. (2014). *Growing Plantation Forests* (Springer Nature). <https://doi.org/DOI.10.1007/978-3-319-01827-0>