

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**EFFECTO DE DOS DENSIDADES DE PLANTACIÓN SOBRE EL
CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES FORESTALES Y PROPIEDADES
QUÍMICAS DEL SUELO EN TULUMAYO.**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser "Blanca Palma", escrita con un estilo cursivo y fluido.

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser "C. Gerónimo Rojas", escrita con un estilo cursivo y fluido.

MARISOL GERONIMO ROJAS

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María- Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°119-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 17 de octubre de 2025, a horas 10:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EFECTO DE DOS DENSIDADES DE PLANTACIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES FORESTALES Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN TULUMAYO”

Presentado por la Bachiller: **GERONIMO ROJAS, MARISOL** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

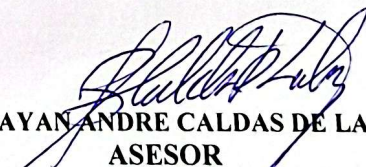
En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 24 de octubre de 2025


Ing. MSc. **RAUL ARAUJO TORRES**
PRESIDENTE


Ing. MSc. **ROBERT GILBERT PECHO DE LA CRUZ**
MIEMBRO


Ing. MSc. **GUNTER DAZA PANDURO**
MIEMBRO


Ing. MSc. **BRAYAN ANDRE CALDAS DE LA CRUZ**
ASESOR


Ing. MSc. **CLEIDE SANTOS FLORES**
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓNINSTITUTO DE
INVESTIGACIÓNUNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 386 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EFFECTO DE DOS DENSIDADES DE PLANTACIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES FORESTALES Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN TULUMAYO	MARISOL GERONIMO ROJAS	07 % Siete	Menor a 20 %

Tingo María, 20 de noviembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



Título : Efecto de dos densidades de plantación sobre el crecimiento de dos especies forestales y propiedades químicas del suelo en Tulumayo.

Programa de investigación : Gestión de bosques y plantaciones forestales

Línea de investigación : Silvicultura, dendrología, manejo y ordenación forestal

Eje temático : Instalación, producción y manejo en viveros y plantaciones forestales

Autor : GERONIMO ROJAS, MARISOL

Asesor (es) : Ing. M. Sc. CALDAS DE LA CRUZ, Brayan
Ing. M. Sc. SANTOS FLORES, Cleide

Lugar de ejecución : LEONCIO PRADO- HUÁNUCO

Duración : 9 meses

Financiamiento : s/. 3 139,00
FEDU: No
Propio: SI
Otros: No

Tingo María- Perú

Octubre, 2025

DEDICATORIA

A Dios, por guiarnos en todo este proceso, por brindarnos vida, salud y sabiduría para poder llegar hasta aquí.

A mis padres María y Teodoro por brindarme su apoyo y amor incondicional y ser el soporte en mi etapa universitaria.

A mi hermana Yesica por ser el motivo de mi vida; a toda mi familia por confiar en mí y nunca me dejaron de lado a pesar de la distancia siempre estuvieron ahí dando el ánimo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a dios por darnos la vida, salud y amor incondicional y guiarnos en cada proceso de aprendizaje y brindarnos su bendición para cumplir cada meta y sueños. A mis padres por su confianza, apoyo y amor incondicional por motivarnos a llegar a esta etapa. A los docentes de la Escuela profesional de ingeniería forestal y a mis asesores por compartirnos sus conocimientos y sus experiencias durante esta investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Plantaciones forestales	3
2.1.2. Variables en la evaluación del crecimiento de plantaciones.....	4
2.1.3. Clase de sitio para una plantación	5
2.1.4. Establecimiento de plantaciones	6
2.1.5. Influencia de la densidad de plantación en el crecimiento de plantas	7
2.1.6. Propiedades químicas del suelo	9
2.1.7. <i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke (Pino chuncho).....	13
2.1.6. <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake (Pashaco).....	14
2.2. Estado del arte.....	17
2.2.1. Internacional.....	17
2.2.2. Nacional	22
2.2.3. Local	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Lugar de ejecución	25
3.1.1. Ubicación política	25
3.1.2. Ubicación geográfica	25
3.1.3. Zona de vida.....	25
3.1.4. Condiciones climáticas.....	26
3.2. Materiales	26
3.2.1. Material vegetativo	26
3.2.2. Materiales y equipos de campo.....	26
3.3. Método.....	27
3.3.1. Incremento de altura y diámetro de <i>S. amazonicum</i> y <i>S. parahyba</i> a dos densidades de plantación	27
3.3.2. Correlación de altura y diámetro en el crecimiento de <i>S. amazonicum</i> y <i>S. parahyba</i>	29
3.3.4. Propiedades químicas del suelo de <i>S. amazonicum</i> y <i>S. parahyba</i> a dos densidades de siembra.....	30

3.4. Tipo, nivel y diseño de investigación.....	31
34.1. Tipo	31
34.2. Nivel	31
34.3. Diseño de investigación.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Incremento de altura (m) y diámetro (mm) de dos especies a dos densidades de plantación.....	34
4.1.1. Altura (m).....	34
4.1.2. Diámetro (mm)	38
4.2. Correlación entre el crecimiento en altura (m) y diámetro (mm) de dos especies a dos densidades de plantación	42
4.3. Porcentaje de sobrevivencia de dos especies forestales a dos densidades de plantación.....	48
4.4. Propiedades químicas del suelo.....	50
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. PROPUESTAS A FUTURO	56
VI. REFERENCIAS.....	57
ANEXO.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página.
1. Valores de CIC según la textura del suelo.....	10
2. Calificación de los suelos de acuerdo con el valor de pH.....	11
3. Materia orgánica y adjetivos calificativos de los elementos mayores disponibles.....	12
4. Prueba T Student para altura (m) en dos densidades de plantación de <i>S. parahyba</i>	35
5. Prueba T Student para altura (m) en dos densidades de plantación de <i>S. amazonicum</i>	36
6. Prueba T Student para diámetro (mm) en dos densidades de plantación de <i>S. parahyba</i> ...	39
7. Prueba T Student para diámetro (mm) en dos densidades de plantación de <i>S. amazonicum</i>	40
8. Correlación de Pearson de <i>S. parahyba</i> en dos densidades de plantación.....	43
9. Correlación de Pearson de <i>S. amazónica</i> en dos densidades de plantación	45
10. Porcentaje de supervivencia de dos especies forestales a dos densidades de plantación ..	49
11. Propiedades químicas del suelo de un sistema agroforestal	52
12. Propiedades químicas cambiales Cmol (+)/kg	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página.
1. Condiciones climáticas del área de estudio	26
2. Comparación de medias de incremento de altura en dos densidades en <i>S. parahyba</i>	35
3. Comparación de medias de incremento de altura en dos densidades en <i>S. amazonicum</i>	37
4. Comparación de medias de incremento de diámetro (mm) en dos densidades en <i>S. parahyba</i>	39
5. Comparación de medias de incremento de diámetro (mm) en dos densidades en <i>S.</i> <i>amazonicum</i>	41
6. Grafica de correlación en <i>S. parahyba</i> : 3 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 6 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 9 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m.	44
7. Grafica de correlación en <i>S. amazonicum</i> : 3 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 6 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 9 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m.	46
8. Porcentaje de supervivencia en dos especies en dos densidades	49
9. Limpieza del área para el establecimiento	74
10. Delimitación del área para diversos distanciamientos	74
11. Apertura de hoyos para el plantado de las dos especies forestales	75
12. Instalación de los plántones a dos densidades.....	75
13. Medición del diámetro de plántones de dos especies forestales	76
14. Medición de la altura de plantas establecidas	76
15. Verificación de la tesis por parte de los jurados.....	77
16. Plantas a los nueve meses de establecido	77

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento, la supervivencia y las propiedades químicas del suelo en plantaciones de *Schizolobium parahyba* y *Schizolobium amazonicum* establecidas en Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. Se emplearon dos espaciamientos (2×2 m y 3.5×3.5 m) en parcelas instaladas sobre un terreno con vegetación arbustiva, realizándose mantenimiento mensual y mediciones trimestrales durante nueve meses. Los resultados mostraron que ambas especies presentaron un mejor desarrollo en la densidad de 3.5×3.5 m, donde *S. parahyba* alcanzó en promedio 2.28 m de altura y 22.69 mm de diámetro, y *S. amazonicum* 1.82 m y 22.53 mm, respectivamente. La supervivencia fue superior al 90 % en ambas especies, destacando *S. amazonicum* con el 100 % en la menor densidad. En cuanto al suelo, se evidenció un ligero incremento en la materia orgánica y el nitrógeno, mientras que el fósforo y el potasio mostraron variaciones en el tiempo. En general, la densidad de 3.5×3.5 m favoreció el crecimiento de las especies y contribuyó a una mejora gradual en la fertilidad del suelo.

Palabras claves: *Schizolobium parahyba*, *Schizolobium amazonicum*, Supervivencia, densidad de plantación

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of planting density on growth, survival, and soil chemical properties in plantations of *Schizolobium parahyba* and *S. amazonicum* established in Pueblo Nuevo, Leoncio Prado Province, Huánuco Region. Two spacings (2×2 m and 3.5×3.5 m) were used in plots installed on shrub-covered land, with monthly maintenance and quarterly measurements carried out over nine months. Results showed that both species performed better at the 3.5×3.5 m spacing, where *S. parahyba* reached an average height of 2.28 m and a stem diameter of 22.69 mm, while *S. amazonicum* reached 1.82 m and 22.53 mm, respectively. Survival exceeded 90% in both species, with *S. amazonicum* showing 100% survival at the wider spacing. Regarding the soil, a slight increase in organic matter and total nitrogen was observed, whereas phosphorus and potassium showed temporal variations. Overall, the 3.5×3.5 m density favored species growth and contributed to a gradual improvement in soil fertility.

Keywords: *Schizolobium parahyba*, *Schizolobium amazonicum*, survival rate, Planting density

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la deforestación a nivel mundial continúa afectando grandes extensiones de bosques naturales debido al uso indiscriminado de los recursos forestales, lo que genera impactos ambientales negativos como la emisión de gases de efecto invernadero, el desequilibrio climático y la pérdida de hábitats naturales. Ante esta problemática, las plantaciones forestales surgen como una alternativa sostenible para restaurar ecosistemas degradados, aumentar la disponibilidad de materia prima y contribuir a la mitigación del cambio climático mediante el almacenamiento de carbono y la mejora de los servicios ecosistémicos.

El éxito de las plantaciones depende en gran medida de la selección adecuada de especies y de la densidad de plantación utilizada, ya que esta última influye directamente en la competencia por luz, agua y nutrientes, afectando el crecimiento individual de los árboles, la productividad total del rodal y las propiedades físicas y químicas del suelo. Densidades más altas pueden favorecer la captura temprana de radiación y el control de malezas, pero también incrementan la competencia y reducen el diámetro de los árboles; mientras que densidades bajas favorecen el crecimiento individual, aunque disminuyen la cobertura y la capacidad de mejora edáfica a corto plazo. Por ello, el estudio de la densidad de plantación constituye un elemento esencial para la planificación y manejo silvicultural.

Las especies *Schizolobium amazonicum* y *Schizolobium parahyba* se caracterizan por su rápido crecimiento, buena adaptabilidad y capacidad para generar múltiples servicios ecosistémicos, por lo que representan una opción importante en programas de reforestación y manejo sostenible. Sin embargo, en la provincia de Leoncio Prado aún existen estudios limitados sobre su comportamiento silvicultural y la influencia que ejercen en las propiedades del suelo bajo diferentes condiciones de manejo. Esta falta de información dificulta establecer estrategias adecuadas de plantación y densidad óptima para maximizar su productividad y contribuir al mejoramiento del suelo. Ante esta situación, surge la siguiente interrogante: ¿Cuál será el efecto de dos densidades de plantación sobre el crecimiento de dos especies forestales y propiedades químicas del suelo en Tulumayo?, y la respuesta a esta problemática sería: Ha: Las densidades de plantación influyen significativamente en el crecimiento y en las propiedades químicas del suelo en Tulumayo.

El establecimiento de plantaciones forestales es una alternativa sostenible para recuperar ecosistemas degradados, aumentar la disponibilidad de materia prima y mejorar servicios

ambientales como la regulación hídrica, la protección del suelo y el almacenamiento de carbono. La densidad de plantación constituye un factor determinante en el manejo forestal, pues regula la competencia entre los árboles por luz, agua y nutrientes, influyendo en el crecimiento y en la dinámica de las propiedades químicas del suelo. Evaluar su efecto permite definir configuraciones óptimas según las condiciones locales, garantizando un equilibrio entre productividad y sostenibilidad. Por ello, este estudio busca generar información técnica sobre cómo la densidad de plantación afecta el desarrollo de *Schizolobium amazonicum* y *Schizolobium parahyba* y la calidad del suelo en Tulumayo.

Bajo estas premisas la presente investigación pretende recabar información sobre el manejo forestal teniendo en cuenta el efecto de dos densidades de plantación sobre el crecimiento de dos especies forestales y propiedades químicas del suelo de esta manera generar información sobre las plantas como se desarrollan, y de esta manera generar ingresos para los productores que manejan ecosistemas forestales como materia prima y servicios ecosistémicos.

Objetivo general

- Estudiar el efecto de dos densidades de plantación sobre el crecimiento de dos especies forestales *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Pino Chuncho) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blake (Pashaco) y propiedades químicas del suelo en Tulumayo.

Objetivos específicos

- Determinar el incremento de altura (m) y diámetro (mm) de dos especies forestales a dos densidades de plantación en Tulumayo.
- Determinar el porcentaje de sobrevivencia de dos especies forestales a dos densidades de plantación en Tulumayo.
- Evaluar las propiedades químicas del suelo de dos especies forestales a dos densidades de plantación en Tulumayo.
- Correlacionar el crecimiento en altura y diámetro de dos especies forestales a dos densidades de plantación en Tulumayo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Plantaciones forestales

Según Rojas (2001), el establecimiento de plantaciones busca generar un patrimonio forestal que pueda aprovecharse en distintos horizontes temporales —corto, mediano o largo plazo— dependiendo de factores como la calidad del suelo, las condiciones climáticas y las especies seleccionadas. Con el paso de los años, el crecimiento de los árboles se traduce en un incremento del volumen de madera disponible, lo que a su vez representa un aumento del valor económico del patrimonio forestal. Dicho capital se ve influenciado directamente por la calidad tecnológica de la madera y las características propias de cada especie.

Rojas (2001) señala que las especies de rápido crecimiento, establecidas en condiciones climáticas favorables, suelen manejarse bajo turnos de corta más cortos, como ocurre con plantaciones de eucalipto o chopo. Este tipo de sistemas forestales destacan por ofrecer elevados índices de rentabilidad y, principalmente, por permitir recuperar la inversión en plazos relativamente breves, que comúnmente oscilan entre 10 y 15 años.

2.1.1.1. Ventajas de las plantaciones forestales

Las plantaciones forestales generan una amplia gama de beneficios y servicios ambientales de gran relevancia a nivel global. Cotidianamente, aun estando alejados de los bosques, la sociedad recibe aportes esenciales como la purificación del aire y del agua, así como la mitigación del calentamiento global a través de la reducción del efecto invernadero. Estos servicios ambientales constituyen un verdadero subsidio a la humanidad, aunque en la mayoría de los casos no se valoran ni se integran de manera adecuada en los análisis económicos y sociales (Rojas, 2001).

La silvicultura puede entenderse como el manejo planificado de árboles forestales con el propósito de obtener productos y beneficios de alta calidad, procurando reducir costos y acortar los plazos de producción. Este enfoque no se limita únicamente al aprovechamiento de los recursos que brinda una plantación, sino que exige una planificación estratégica que garantice eficiencia, sostenibilidad y bajos costos operativos. En la práctica, el

desarrollo de la silvicultura moderna en plantaciones se sustenta principalmente en su capacidad de generar productividad y retornos económicos para el inversionista (Torrez, 2017).

De acuerdo con la FAO (1981), se estimó que sería necesario disponer de aproximadamente 30 millones de hectáreas de plantaciones sometidas a un manejo intensivo para satisfacer la demanda de productos forestales en los años siguientes. Posteriormente, Wardsworth (1997) planteó que las plantaciones forestales resultan indispensables en determinados contextos, tales como: cuando los bosques naturales no ofrecen condiciones adecuadas, presentan un crecimiento demasiado lento frente a la creciente demanda, se encuentran dispersos dificultando las actividades de aprovechamiento, o están ubicados en áreas de difícil acceso para el transporte de los productos.

2.1.2. Variables en la evaluación del crecimiento de plantaciones

La evaluación de una plantación implica el uso de métodos específicos destinados a recopilar información sobre determinadas características de la misma. Esta actividad constituye un componente fundamental en la gestión de las plantaciones, aun cuando se disponga de herramientas de referencia como tablas de rendimiento o modelos de manejo previamente calibrados en condiciones semejantes (Torres, 2001).

La medición de variables fundamentales en plantaciones forestales proporciona al administrador información cuantitativa indispensable para una adecuada planificación y manejo. Cabe señalar que las técnicas empleadas para realizar dichas mediciones pueden variar en función del propósito específico del estudio, el volumen y valor del recurso, las condiciones locales, la disponibilidad de tiempo, el presupuesto asignado y también factores relacionados con el mercado (Torres, 2001).

Según Vega y Maldonado (2010), la dasometría constituye una rama de la estereometría dedicada a la medición del monte en su acepción más amplia. El término proviene del griego, donde *dasos* significa bosque y *metron* hace referencia a medida.

Imaña (2008) señala que la dasometría forma parte de la dasonomía o ciencia forestal y se ocupa de la medición de los bosques y de sus productos, tomando como referencia las dimensiones de los elementos que los conforman, principalmente los árboles o sus partes susceptibles de aprovechamiento. Dentro de estas mediciones, una de las más utilizadas es el DAP, que corresponde al diámetro a la altura del pecho (1,30 m). En algunos casos, por

conveniencia, esta dimensión se obtiene midiendo la circunferencia del fuste a esa misma altura desde el suelo.

La medición del diámetro puede efectuarse utilizando una cinta diamétrica graduada en centímetros o mediante una forcípula. Con el propósito de evitar sobreestimaciones en el cálculo del volumen y corregir posibles errores de medición, el valor obtenido en centímetros se ajusta hacia abajo (FAO, 2000).

2.1.3. Clase de sitio para una plantación

El método indirecto se basa en la clasificación de áreas donde todavía no se han establecido plantaciones, considerando para ello variables como el clima, las condiciones fisiográficas y las características edáficas del lugar (Chávez y Fonseca, 1991).

Los modelos derivados del método indirecto resultan de gran utilidad práctica, especialmente cuando se construyen a partir de un número reducido de variables que, además, son sencillas de medir en campo. Este enfoque permite establecer relaciones entre las condiciones climáticas, fisiográficas y edáficas presentes en distintos sitios (Ugalde y Vásquez, 1995).

Entre los múltiples factores ambientales que influyen en el crecimiento de los árboles, el suelo suele considerarse el más determinante. No obstante, las características que inciden en dicho crecimiento no siempre son las mismas, ya que aspectos como la humedad, la textura, la profundidad, el contenido de arcilla en los horizontes A11 y B, el nivel de nutrientes y la temperatura ejercen efectos variables según el tipo de suelo y la especie en cuestión (García, 1970).

2.1.3.1. Factores fisiográficos

El uso de factores fisiográficos para predecir la calidad del sitio se justifica en que la topografía influye directamente en la formación del suelo, por lo que debe ser considerada como una fuente relevante de variabilidad (Hairston y Grigal, 1991).

La topografía ejerce una influencia directa sobre los factores ambientales; en este sentido, la posición topográfica puede emplearse como un indicador de dichos factores, especialmente en zonas de latitudes extremas o en regiones con alta nubosidad (Hairston y Grigal, 1991).

2.1.3.2. Factores edafoclimáticos

La distribución y el crecimiento de los bosques están fuertemente condicionados por la precipitación y la temperatura, factores que, a escala regional, pueden emplearse como indicadores de productividad (Donoso, 1981).

2.1.4. Establecimiento de plantaciones

Una plantación forestal se define como el establecimiento de árboles que forman una masa boscosa con un diseño, una extensión y especies seleccionadas de acuerdo con fines específicos. Estos pueden incluir producción de madera, generación de energía, protección de áreas agrícolas, resguardo de cuerpos de agua, control de la erosión o sistemas silvopastoriles, entre otros. El objetivo planteado determina aspectos como la densidad de siembra, los rendimientos esperados, los costos de establecimiento y la elección de las especies más adecuadas, así como la programación de la producción. Para garantizar el éxito de la plantación, resulta imprescindible realizar previamente un análisis detallado de las condiciones naturales del sitio, junto con una adecuada planificación y distribución del área (Trujillo, 2011).

El establecimiento de plantaciones forestales consiste en la plantación de árboles en áreas donde estos se encuentran ausentes. Dicho proceso puede llevarse a cabo mediante dos modalidades: forestación y reforestación. La forestación se refiere a la plantación de especies forestales en lugares donde no existían previamente, mientras que la reforestación implica repoblar con árboles aquellas zonas que anteriormente estuvieron cubiertas por bosques y que fueron intervenidas o aprovechadas.

Según los objetivos que persiguen, las plantaciones forestales pueden clasificarse en tres grandes tipos. En primer lugar, se encuentran las plantaciones en macizos, las cuales pueden ser de producción o de protección. En segundo lugar, están las plantaciones agroforestales, que incluyen sistemas como la agrosilvicultura, el silvopastoreo, el agrosilvopastoril y aquellas orientadas a una producción forestal de uso múltiple. Finalmente, se consideran las plantaciones urbanas, también conocidas como arborización urbana, cuyo fin principal es mejorar la calidad ambiental y paisajística en las ciudades.

2.1.5. Influencia de la densidad de plantación en el crecimiento de plantas

La densidad de plantación ejerce una influencia fundamental en el crecimiento y desarrollo de las plantas forestales, actuando como un factor silvícola crítico que modula la competencia por los recursos y, en última instancia, la productividad del ecosistema forestal. Un marco teórico integral para comprender estas relaciones implica el estudio de propiedades del rodal relacionadas con la densidad, incluyendo el auto-aclareo, el efecto de competencia-densidad, el rendimiento final constante y la disminución del crecimiento del rodal relacionada con la edad (Long y Vacchiano, 2014).

Para optimizar la producción forestal, tanto en calidad como en cantidad, la silvicultura emplea diversas técnicas. Entre las más importantes se encuentran el control de malezas, la fertilización, las podas, los deshijes y, de manera fundamental, el control de la densidad, un factor crucial para el desarrollo de los árboles (Arce y Fonseca, 2003).

El principal objetivo de manejar plantaciones forestales es incrementar el volumen y la calidad de la madera comercial, y para ello, la herramienta más eficaz con la que cuenta el silvicultor es el manejo de la densidad. Esto se debe a que el grado de espesura de un rodal influye en múltiples características, como el diámetro, la altura, el volumen, el tamaño de la copa, el vigor e, incluso, la resistencia a plagas y enfermedades (Pérez et al., 2005).

La determinación de la densidad de plantación es una decisión crucial. Económicamente, esta se establece en función de los costos y los objetivos de la plantación: se emplean densidades más altas cuando se busca obtener fustes rectos, y más bajas cuando el propósito es favorecer copas amplias y bien iluminadas para la producción de frutos (Ferrere et al., 2005).

El principio fundamental es que, a medida que aumenta la densidad de plantación, la competencia intraespecífica por recursos esenciales (luz, agua y nutrientes del suelo) se intensifica. Esta competencia se traduce en una reducción del crecimiento individual de los árboles (Gabira et al., 2023).

La competencia por recursos como la luz, el agua y los nutrientes es un mecanismo clave a través del cual la densidad de plantación afecta el crecimiento individual de los árboles. En densidades altas, la competencia interespecífica se intensifica, lo que puede

resultar en una reducción del diámetro del tallo, la altura de la planta y el número de ramas (Yu-Jun, 2012).

La densidad de plantación no solo tiene implicaciones productivas, sino también ecológicas. Afecta la estructura del rodal, la diversidad de plantas (Wei et al., 2025), y la provisión de funciones ecosistémicas, como la captura de carbono y la restauración de bosques. Por ejemplo, en los bosques protectores, la densidad y la estructura del bosque influyen en su capacidad para proporcionar funciones protectoras, como la prevención de la erosión del suelo y la regulación del flujo de agua (Zhu et al., 2020).

El auto-aclareo es un proceso ecológico crucial que se observa en rodales densos, donde la competencia conduce a la mortalidad natural de los individuos más débiles. Este fenómeno permite que la biomasa total del rodal o la densidad de tallos se mantenga relativamente constante en las etapas avanzadas del desarrollo, ya que la biomasa ganada por los árboles supervivientes compensa la pérdida de individuos. Este proceso está influenciado por la competencia asimétrica por la luz, lo que da lugar a una regulación natural de la densidad y la estructura del rodal (Gabira et al., 2023).

Aunque el crecimiento individual se reduce en densidades altas, la biomasa total por unidad de área puede no seguir el mismo patrón. En especies como *Cunninghamia lanceolata* (abeto chino), la densidad inicial de plantación afecta significativamente el crecimiento del árbol, la producción de biomasa y su asignación entre diferentes órganos (raíces, tallo, hojas). Densidades intermedias o incluso altas pueden maximizar la producción de biomasa por hectárea, incluso si el tamaño de los árboles individuales es menor (Farooq et al., 2019).

La determinación de la densidad de plantación óptima es un objetivo clave en la gestión forestal para maximizar tanto el rendimiento de biomasa como la calidad de los productos madereros. La densidad óptima varía significativamente entre especies, condiciones ambientales y objetivos de producción (Gabira et al., 2023). Además de la densidad, el patrón de plantación (como una disposición hexagonal) también puede influir en el crecimiento y la biomasa al afectar la densidad de empaquetamiento (Gabira et al., 2023).

La densidad de plantación no solo impacta el crecimiento y la producción, sino también la estructura del rodal, la diversidad vegetal y la provisión de servicios ecosistémicos,

como la captura de carbono y la restauración de ecosistemas. En los bosques protectores, la densidad y la estructura del rodal son fundamentales para su capacidad de desempeñar funciones de protección, como la prevención de la erosión del suelo y la regulación del ciclo hidrológico. La modelización del crecimiento forestal, que integra variables ambientales y la densidad de población, es esencial para predecir el desarrollo futuro de los bosques y optimizar la gestión forestal sostenible (Gabira et al., 2023).

En resumen, la densidad de plantación es un regulador principal del crecimiento de las plantas forestales, influyendo en la competencia por recursos, la eficiencia en el uso de la luz y la producción de biomasa. La comprensión de estas interacciones es fundamental para el manejo forestal sostenible, la restauración de ecosistemas y la optimización de los servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques. Además, la adaptación de los árboles al cambio climático puede verse afectada por la densidad, ya que esta influye en la resiliencia fisiológica y ecológica de las plantas frente a estresores ambientales (Ramanpong et al., 2024),

2.1.6. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo constituyen indicadores de fertilidad, entre ellas el pH, el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, así como la capacidad de intercambio catiónico. Estos factores resultan determinantes para el rendimiento y la productividad de los cultivos (Acevedo et al., 2005).

2.1.6.1. Intercambio de catión

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) representa la estimación de los sitios de carga presentes en las arcillas, tanto aquellos permanentes como los que dependen del pH. Estos sitios retienen cationes mediante fuerzas electrostáticas y se consideran un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora del suelo, la cual varía según la cantidad y el tipo de arcilla. Para determinar la CIC se aplican diferentes métodos, entre ellos: la suma de cationes intercambiables, la medición del pH del suelo, el pH amortiguado y el punto de carga cero. Todos estos procedimientos se basan en la saturación del suelo con un catión de referencia (Pérez et al., 2017).

La estimación de cargas positivas y negativas puede realizarse de manera simultánea; no obstante, los procedimientos que requieren el lavado y centrifugado de las

muestras demandan mayor tiempo y esfuerzo, además de implicar pérdida de material (Pérez et al., 2017).

Tabla 1. Valores de CIC según la textura del suelo.

Textura de suelo	Valores
Suelos arenosos	1-5 meq/100 g
Suelos francos	5-15 meq/100 g
Suelos arcillosos	15-30 meq/100 g
Turba de Sphagnum	100 meq/100g
Valor extremos inferior	< 5 meq/100 g
Valor extremo superior	> 30 meq/100 g
Humus	150-500 meq/100 g

Fuente: USDA (1993)

2.1.6.2. pH del suelo

El pH del suelo constituye una de las variables más relevantes en la agricultura a nivel mundial. Se considera que el rango óptimo para alcanzar altos rendimientos y máxima productividad se sitúa entre 6,5 y 7,0, ya que en este intervalo los nutrientes son más fácilmente asimilables y, en consecuencia, se favorece el desarrollo de la mayoría de los cultivos. No obstante, existen ciertos nutrientes —en su mayoría micronutrientes— y especies agrícolas que pueden adaptarse con relativa facilidad a condiciones de pH ácido o básico (Catalán, 2016).

En los suelos el pH es una propiedad química que es de mucha importancia ya que indica que tan ácida o alcalina es el suelo, ya que es de donde los microorganismos y las raíces de un suelo toman sus nutrientes. (Osorio, 2012)

El pH del suelo ejerce una influencia decisiva en la disponibilidad y asimilación de nutrientes por parte de las plantas. De manera general, los valores comprendidos entre 6 y 7 se consideran los más favorables para este proceso. Sin embargo, cada cultivo presenta un intervalo específico de pH en el que se desarrolla de mejor manera, aunque también posee cierta capacidad de adaptación. A continuación, se muestra una tabla con la clasificación de los suelos en función de su valor de pH (Havlin et al., 2014).

Tabla 2. Calificación de los suelos de acuerdo con el valor de pH.

Valor	Clasificación
< 3,5	Ultra ácido
3,5-4,4	Extremadamente ácido
4,5-5,0	Muy frecuentemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,6	Ligeramente ácido
6,6-7,3	Neutro
7,4-7,8	Ligeramente alcalino
7,9-8,4	Moderadamente alcalino
8,5-9,0	Fuertemente alcalino
> 9	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Soil Division Staff SSDS (1999)

2.1.6.3. Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en el suelo suele variar entre 1 y 2 % en condiciones de secano y entre 2 y 4 % en sistemas de regadío. No obstante, más que la cantidad presente, lo verdaderamente relevante es la velocidad con la que dicha materia se descompone. Un suelo agrícola de buena calidad se caracteriza por mantener un equilibrio dinámico entre los procesos de mineralización y humificación, los cuales deben darse con relativa rapidez, lo que exige un aporte constante de residuos orgánicos. Cuando la descomposición ocurre lentamente, la materia orgánica sin transformar tiende a acumularse. La dinámica y el balance de estos procesos dependen de la actividad de los microorganismos responsables de las transformaciones, cuya acción está condicionada por diversos factores ambientales y edáficos (Yagüe, 2002).

La transformación de la materia orgánica en el suelo está influenciada por diversos factores, entre los que destacan la composición de los residuos, la temperatura, la humedad, la aireación, el contenido de nitrógeno y el grado de acidez del suelo. El porcentaje de materia orgánica en el epipedón presenta una amplia variación: puede ser inferior al 1 % en suelos de regiones áridas (Aridisoles), superar el 10 % en suelos de pradera, como los Mollisoles, y alcanzar más del 30 % en todos los horizontes de los suelos orgánicos (Porta et al., 2003).

Tabla 3. Materia orgánica y adjetivos calificativos de los elementos mayores disponibles.

Calificativo	Materia orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Fosforo (ppm)	Potasio (kgK ₂ O/ha)
Bajo	< 2	< 0,1	> 7	< 300
Medio	2	0,1-0,2	10-14	300-600
Alto	> 4	> 0,2	>14	> 600

Fuente: UNALM (2012)

2.1.6.4. Nitrógeno

El nitrógeno (N) constituye un macronutriente esencial tanto para el suelo como para las plantas, siendo fundamental para todos los seres vivos. Además de formar parte de las proteínas, este elemento se encuentra presente en la mayoría de los compuestos orgánicos de origen vegetal. Actualmente se reconoce que es el factor limitante más frecuente para el crecimiento de las plantas, de modo que su deficiencia puede ocasionar reducciones significativas en la producción. Tanto la carencia como el exceso de nitrógeno en el suelo tienen un impacto considerable sobre la salud y la productividad vegetal (Benimeli et al., 2019).

2.1.6.5. Fósforo

El fósforo es un elemento esencial para la nutrición vegetal, ya que las plantas lo absorben principalmente en forma de fosfatos monoácidos y diácidos. A diferencia del nitrógeno y el azufre, que se captan en forma aniónica, este nutriente presenta una movilidad limitada debido a su tendencia a reaccionar y transformarse en compuestos fosforados no disponibles para las plantas. Por esta razón, se considera uno de los elementos más críticos en la nutrición de los cultivos (Sanzano, 1999).

2.1.6.6. Potasio

El potasio es un macronutriente de gran importancia, cuya deficiencia se manifiesta rápidamente en las plantas debido a las elevadas cantidades que estas requieren, siendo entre tres y cuatro veces mayor que la demanda de fósforo y casi equivalente a la de nitrógeno. Se le considera un nutriente primario porque participa directamente en funciones vitales del metabolismo vegetal (Coronel, 2003).

2.1.7. *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Pino chuncho)

Taxonomía de la especie

Cronquist (1981), lo clasifica de la siguiente forma:

División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Subclase	: Rosidae
Orden	: Fabales
Familia	: CAESALPINIACEAE
Género	: <i>Schizolobium</i>
Especie	: <i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke
Nombre común	: Pino chuncho

Aspectos morfológicos

El pino chuncho se caracteriza por ser un árbol inerme de porte mediano a grande, alcanzando alturas que varían entre 25 y 40 metros, con diámetros a la altura del pecho que pueden llegar hasta 100 cm. Su fuste es recto, cilíndrico y libre de ramificaciones tempranas, presentando defectos únicamente en casos poco frecuentes. En la base del tronco suelen desarrollarse de tres a cinco aletones laminares, delgados y equiláteros, con grosores de 3 a 6 cm; en ocasiones aparecen bifurcados. Estos aletones presentan un tono café amarillento, generalmente más claro que el del tronco (Parrota et al., 1995).

Distribución geográfica y hábitat

Esta especie se distribuye principalmente en la Amazonía, generalmente por debajo de los 1200 m s.n.m. Crece en zonas con alta pluviosidad durante todo el año, aunque también puede encontrarse en áreas donde existe una estación seca marcada. Presenta un comportamiento heliófito, con rápido crecimiento, y suele establecerse tanto en bosques secundarios (tempranos y tardíos) como en claros de bosques primarios. Prefiere suelos arenosos a limosos, de fertilidad media a alta, siempre que estén bien drenados y con niveles de pedregosidad bajos a moderados. Es altamente susceptible al anegamiento, especialmente en su etapa de plántula. En el Perú, su presencia se concentra principalmente en los departamentos de Loreto y Ucayali (Reynel et al., 2003).

El género *Schizolobium* es exclusivo del neotrópico y se distribuye desde el sur de México hasta el sureste de Brasil, particularmente en los estados de Río Grande do Sul y Paraná. En Bolivia presenta una amplia presencia geográfica, que abarca desde el norte hasta la región centro-oriental del país. Su desarrollo se da preferentemente en climas tropicales húmedos a subhúmedos estacionales, con una precipitación media anual que varía entre 1200 y 2500 mm. El rango altitudinal en el que se encuentra oscila entre 150 y 1500 m s.n.m., ocupando tanto llanuras aluviales como estribaciones montañosas, aunque muestra una notable capacidad de adaptación a diferentes condiciones fisiográficas (EMBRAPA Florestas, 2005).

Fenología

Según Gonzales (2011), esta especie es común en bosques secundarios, pastizales y zonas destinadas a reforestación, debido a su notable capacidad de adaptación a diferentes condiciones del terreno. Su período de floración ocurre principalmente en los meses de noviembre y diciembre.

Usos

De acuerdo con Gonzales (2011), en sistemas agroforestales esta especie se valora por la adecuada sombra que brinda a los cultivos asociados. Asimismo, su madera es apreciada por su buena calidad y resulta útil también para la producción de leña.

2.1.6. *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blake (Pashaco)

De acuerdo con la clasificación propuesta por Cronquist (1988), la especie se organiza taxonómicamente de la siguiente forma:

Reino	: Plantae
División	: Angiosperma
Clase	: Dicotiledonea
Orden	: Fabales
Familia	: Fabaceae
Género	: <i>Schizolobium</i>
Especie	: <i>Parahyba</i>
Nombre científico	: <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake
Nombre común	: Pashaco.

Descripción botánica

El pashaco es un árbol que alcanza diámetros que oscilan entre 30 y 70 cm y una altura aproximada de 18 a 25 m. Su fuste es cilíndrico, con ramificación en el tercio superior, y generalmente presenta una base recta (Reynel et al., 2003).

Corteza externa: Se caracteriza por ser lisa o presentar grietas, con tonalidades que varían entre marrón, rojizo y grisáceo. Posee ritidomas en forma de placas rectangulares o cuadrangulares de entre 1,5 y 4,0 cm de ancho. En la parte interna, la corteza es homogénea, de color blanquecino y con un olor característico similar al de las legumbres (Reynel et al., 2003).

Hojas: Las ramillas terminales presentan sección circular, con diámetros de 5 a 10 mm, y adquieren una coloración marrón rojiza a marrón claro cuando están secas; son glabras. Las hojas son compuestas bipinnadas, dispuestas en espiral y de manera alterna. Los pecíolos miden entre 6 y 12 cm de longitud y el raquis es acanalado. Las pinnas se disponen en pares opuestos, entre 10 y 20, y están conformadas por folíolos oblongos de 1,5 a 3,0 cm de largo y 0,4 a 0,7 cm de ancho, con márgenes enteros. Estos folíolos presentan de 12 a 14 pares de nervaduras secundarias, prominulos visibles en ambas caras, ápices redondeados con un pequeño mucrón, y bases también redondeadas; el envés puede ser glabro o presentar ligera pubescencia.

Inflorescencias y flores: Las inflorescencias son panículas multifloras, de 20 a 40 cm de longitud, que se desarrollan en las ramillas defoliadas. Las flores son de tamaño mediano, hermafroditas y zigomorfas, con cáliz y corola diferenciados. Los pedicelos miden entre 4 y 10 mm; el cáliz, de 4 a 5 mm; y la corola, de color amarillo, alcanza entre 2 y 2,5 cm de longitud. Los estambres tienen de 1 a 1,5 cm de largo. El gineceo está compuesto por pistilos con ovarios súpero y alargados, y estigmas poco visibles (Reynel et al., 2003).

En el pashaco, las inflorescencias son paniculadas, de gran tamaño y terminales, con longitudes entre 20 y 35 cm, y presentan raquis de tonalidad amarilla a verdosa, ligeramente pubescentes, que se desarrollan sobre brotes nuevos. Sus flores, de tipo zigomorfo y con un ligero aroma, miden entre 1,5 y 2,0 cm; poseen cinco sépalos oblongos soldados en la base y una corola compuesta por cinco pétalos libres de color amarillo, sostenidos por pedicelos articulados de forma oblonga a ovada de 1,0 a 2,0 cm. Los estambres, en promedio diez, son libres, desiguales y ligeramente recurvados, con filamentos verdosos y anteras pardas, mientras

que el ovario es súpero, corto-estipitado, alargado, unilocular y cubierto de pelos negros, con un estigma simple (Reynel et al., 2003).

Frutos: Los frutos del pashaco son planos, alargados y de forma oblanceolada, con ápice redondeado, alcanzando entre 8 y 10 cm de longitud y de 2,5 a 3,5 cm de ancho. Su superficie es lisa, glabra y de tonalidades que van del marrón rojizo al marrón oscuro. Cada fruto contiene una única semilla alada, cuyo tamaño y forma son semejantes al del fruto, con el ala ubicada de manera lateral (Reynel et al., 2003).

Semillas: Las semillas del pashaco son prolongadas, de forma orbicular aplanada y con tonalidades que varían del crema al verdoso, alcanzando longitudes de 1,5 a 3,5 cm y anchos de 1,0 a 2,0 cm. Están recubiertas por una envoltura papirácea que forma una estructura alada, lo que les confiere la característica de sámaras (Reynel et al., 2003).

Floración: Las floraciones del pashaco, al igual que en otras especies tropicales de amplia distribución geográfica, están influenciadas por la latitud. Así, las poblaciones ubicadas al norte del Ecuador florecen comúnmente entre enero y junio, mientras que en las latitudes más meridionales el periodo de floración se extiende de mayo a agosto (Justiniano et al., 2001).

Polinización: Los estudios sobre la floración del pashaco indican que sus principales agentes polinizadores son insectos, destacando abejas de la familia Apidae y mariposas diurnas pertenecientes a las familias Nymphalidae, posiblemente Heliconidae y Pieridae. Dado que las flores del pashaco presentan similitudes con las de la tribu Cassinae, es probable que compartan polinizadores comunes, como la abeja *Trigona silvestriana* (Justiniano et al., 2001).

La distribución del género *Schizolobium* se restringe al neotrópico, abarcando desde el sur de México hasta el sureste de Brasil, en los estados de Paraná y Río Grande do Sul. En particular, *S. parahyba* se desarrolla en regiones neotropicales húmedas, adaptándose a climas que van desde subhúmedos estacionales hasta tropicales húmedos, con precipitaciones anuales promedio entre 1200 y 2500 mm. Su rango altitudinal fluctúa entre 150 y 1500 m s.n.m., ocupando tanto llanuras aluviales como estribaciones montañosas, con una notable capacidad de adaptación a distintos ambientes fisiográficos. Esta especie prefiere suelos bien drenados,

aunque puede tolerar períodos cortos de deficiencia en el drenaje, estableciéndose tanto en suelos aluviales ricos como en lateríticos pobres.

La regeneración natural de *S. parahyba* se da principalmente en áreas perturbadas y abiertas, como claros, patios de acopio, bordes de caminos y otros espacios generados por actividades de aprovechamiento forestal. Cuando existe suficiente disponibilidad de semillas, el principal factor que limita su desarrollo temprano son los daños mecánicos ocasionados por larvas de mariposas como *Hypsiphylia sp.*. Sin embargo, una vez establecidas, las plántulas crecen con rapidez en altura, lo que les permite superar la competencia y evitar el impacto de plagas asociadas a lianas (Justiniano et al., 2001).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Internacional

Ofosua *et al.* (2025) examinaron el beneficio climático de la reforestación y la plantación en el noroeste de la región boreal canadiense, evaluando diferentes densidades de plantación (600–1400 árboles ha⁻¹) y mezclas de especies (25–40 % de árboles caducifolios) mediante simulaciones de 250 años. Los resultados indicaron que densidades moderadas con especies mixtas capturaron entre un 15 y 30 % más carbono que monocultivos de coníferas, alcanzando secuestros netos de 4.6 a 4.7 toneladas de CO₂ equivalente por hectárea por año. Asimismo, se observó que este tipo de mezcla y densidad mejora la retención de carbono del ecosistema sin aumentar el riesgo ecológico. Este hallazgo proporciona un antecedente valioso para estudios de densidad de plantación en especies forestales con enfoque en productividad y dinámica del suelo.

Gabira *et al.* (2023) realizaron una revisión de 255 estudios publicados entre 1981 y 2020 para evaluar cómo la densidad de plantación influye en las respuestas morfológicas y fisiológicas de especies forestales monoespecíficas, especialmente *Eucalyptus* y *Pinus*. Se evidenció que mayores densidades promueven una mayor productividad por unidad de área, incrementando el volumen y diámetro del fuste, aunque con menor crecimiento individual debido a la competencia intraespecífica. Además, aspectos fisiológicos como la eficiencia en el uso del agua, la transpiración y la adaptación a condiciones edáficas y climáticas tuvieron mayor impacto en el crecimiento que la densidad per se. El estudio también destacó vacíos de investigación en especies no maderables y en la comprensión fisiológica del efecto del

espaciamiento. Estos hallazgos orientan las prácticas silvícolas hacia un manejo más eficiente de plantaciones homogéneas en función de objetivos productivos y ecológicos.

Olmedo *et al.* (2022) analizaron la fenología de crecimiento primario (brotación, caída de hojas, floración, fructificación) y el crecimiento radial secundario de *Schizolobium parahyba* en zonas subtropicales fuera de su rango original. Durante 23 meses observaron quincenalmente 10 individuos y, mediante técnicas dendrocronológicas, analizaron anillos de 16 árboles correlacionándolos con fotoperiodo, temperatura y precipitación. Los resultados mostraron una fuerte estacionalidad: la brotación y fructificación se relacionaron positivamente con el fotoperiodo, mientras que la caída foliar fue inversa. El crecimiento radial intraanual fue influenciado positivamente por la temperatura y, a escala interanual, por la lluvia invernal. Estos patrones fenológicos difieren de los observados en zonas tropicales, lo cual sugiere una alta plasticidad ecológica de la especie ante variaciones climáticas. El estudio resalta la importancia de considerar la interacción entre clima y crecimiento para comprender y planificar el potencial forestal de *S. parahyba* en regiones fuera del trópico.

Selvalakshmi *et al.* (2022) evaluaron el efecto de la densidad de plantación sobre la calidad del suelo en plantaciones maduras de *Pinus kesiya* con cuatro niveles de densidad (700 a 2340 árboles ha⁻¹). Analizaron 39 propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo hasta 1 m de profundidad y calcularon el Índice de Calidad del Suelo (ICS). Los resultados mostraron que densidades elevadas disminuyeron significativamente el ICS, especialmente en la capa superficial (0–20 cm), debido a la reducción del carbono total, biomasa microbiana y humedad del suelo. Además, una mayor calidad del suelo se asoció con mayor biomasa del fuste. El estudio concluye que mantener densidades moderadas o bajas mejora la calidad edáfica y el rendimiento, aportando criterios relevantes para el manejo sostenible de plantaciones forestales.

Lyu *et al.* (2021) evaluaron el efecto del manejo silvícola mediante densidades de árboles comerciales (100, 150 y 200 N/ha) sobre la diversidad del sotobosque y las propiedades fisicoquímicas del suelo en una plantación de *Pinus massoniana* de 36 años en Sichuan, China. Los resultados demostraron incrementos significativos en la materia orgánica, fósforo disponible y nitrógeno hidrolizable en el horizonte superficial tras la intervención. Además, se observó una mayor diversidad y riqueza en las capas arbustiva y herbácea, junto con el reemplazo de especies dominantes. La densidad de 200 N/ha mostró el mejor desempeño integral en la mejora del ambiente edáfico y la diversidad vegetal. El estudio resalta cómo prácticas de manejo como el “crop tree management” pueden ser eficaces en restaurar la

fertilidad del suelo y favorecer la biodiversidad, elementos clave para el manejo sostenible de plantaciones forestales.

Han *et al.* (2021) estudiaron los efectos de tres especies forestales (*Larix principis-rupprechtii*, *Picea crassifolia*, *Pinus tabulaeformis*) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en ecosistemas montañosos semiáridos. Compararon el contenido de nutrientes, estructura del suelo y características como densidad aparente, porosidad y textura entre especies. Encontraron que la composición de hojas y hojarasca influye en la disponibilidad de nutrientes (SOC, TN, TP), y que *L. principis-rupprechtii* y *P. crassifolia* mejoran significativamente la fertilidad del suelo y la porosidad, reduciendo la densidad aparente comparado con *P. tabulaeformis*. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar especies para optimizar la calidad edáfica en plantaciones forestales – particularmente relevante al investigar cómo la densidad de plantación afecta crecimiento y dinámica de suelo.

Tinkham *et al.* (2021) evaluaron el efecto de diferentes densidades de regeneración posincendio sobre el crecimiento en altura y diámetro de *Pinus contorta* en bosques afectados por disturbios en Montana, EE. UU. Utilizaron parcelas permanentes con seguimiento durante más de dos décadas, comparando parcelas con baja, media y alta densidad. La metodología incluyó mediciones periódicas de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y sobrevivencia. Los resultados indicaron que las parcelas con densidad intermedia (entre 4,000 y 6,000 tallos por hectárea) presentaron mayores tasas de crecimiento en altura y diámetro, así como mejor balance entre competencia y disponibilidad de recursos. En contraste, las densidades más altas mostraron competencia excesiva, reduciendo el vigor de los individuos, mientras que las más bajas disminuyeron la productividad por área. Concluyeron que una densidad de regeneración intermedia puede optimizar el crecimiento y la productividad a largo plazo de plantaciones postincendio, contribuyendo a estrategias silvícolas resilientes en escenarios de cambio climático.

Canales y Meza (2021) en su estudio sobre plantaciones forestales de la especie *Swietenia macrophylla* en Rio San Juan, con el objetivo de determinar las variables de diámetro y altura de las plantas. En la metodología se emplearon los siguientes distanciamientos: T₁ (5 x 6 m), T₂ (3 x 7 m), T₃ (3 x 4 m). En los resultados se obtuvo lo siguiente: con un distanciamiento de (3 x 7 m) en la variable diámetro fue de 19,8 cm, en la altura total un 12,8 m; con un distanciamiento (4 x 7 m) en la variable diámetro fue de 18,9 cm, en la altura total un 17 m, con

un distanciamiento de (3x 4 m) en la variable diámetro fue de 23 cm, en la altura total un 19,2 m.

Pretzsch (2020) revisó 22 experimentos históricos con 127 parcelas en rodales de *Picea abies* (spruce noruego) establecidos desde 1882 para explorar los efectos del raleo sobre el crecimiento y rendimiento según el sitio y régimen silvícola. Los hallazgos revelaron que reducciones moderadas en la densidad (hasta 50 % del máximo) aceleraron el crecimiento del diámetro de árboles dominantes, especialmente en suelos fértiles, aunque resultaron en una reducción de hasta 26 % ($\approx 670 \text{ m}^3/\text{ha}$) en el rendimiento total a los 100 años. El modelo mostró una curva de rendimiento saturado frente a densidad de rodal y que el efecto del raleo disminuye con la edad del rodal. Además, se destacó que el raleo realizado desde arriba afecta menos el rendimiento total que el raleo desde abajo. Este estudio confirma que la densidad del rodal y el tipo de manejo silvícola influyen directamente en las trayectorias de crecimiento y deben sopesarse cuidadosamente para equilibrar producción y desarrollo forestal sostenible.

Arias-Aguilar et al. (2020) evaluaron el crecimiento, almacenamiento de nutrientes y propiedades químicas del suelo en plantaciones de *Eucalyptus saligna* y *E. tereticornis* bajo tres densidades (5000, 10 000 y 20 000 árboles ha^{-1}). A los 24 meses, *E. tereticornis* alcanzó hasta $117.42 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biomasa, y *E. saligna* hasta $107.67 \text{ Mg ha}^{-1}$, siendo la densidad de 10 000 árboles ha^{-1} la más eficiente en acumulación de biomasa, con menor mortalidad y mayor rendimiento. Esta densidad también mantuvo la mayor concentración de materia orgánica en los 20 cm superiores del suelo. En cambio, la mayor densidad (20 000 árboles ha^{-1}) provocó hasta un 33 % de pérdida de nutrientes (N, P, K, Ca). El estudio resalta la importancia de regular la densidad de plantación para equilibrar el rendimiento forestal y la sostenibilidad edáfica.

Humano (2020) desarrollo un modelo de crecimiento diamétrico para especies maderables, considerando variables estructurales y de competencia. A partir de datos recolectados en ocho parcelas permanentes, identificaron que la posición sociológica del árbol y la ocupación del rodal influyen significativamente en el incremento diamétrico. *Cedrela balansae* y *Anadenanthera colubrina* presentaron los mayores crecimientos con 5.77 mm/año y 4.77 mm/año, respectivamente. El modelo permitió estimar turnos de corta entre 30 y 135 años, evidenciando la lenta recuperación estructural del bosque y la necesidad de ciclos de corta superiores a 20 años para un manejo forestal sostenible.

Duan et al. (2019) evaluaron el efecto de cinco densidades de plantación (1 667 a 10 000 árboles ha^{-1}) sobre las propiedades físico-químicas del suelo en plantaciones maduras de

Cunninghamia lanceolata de 36 años en Guangxi, China. A través del análisis de 12 indicadores en perfiles de hasta 1 m de profundidad, se evidenció que densidades altas reducen la materia orgánica, el carbono, nitrógeno y fósforo total, mientras que el pH, potasio total y disponible aumentaron. Los nutrientes disminuyeron con la profundidad, especialmente en los primeros 30 cm del suelo. El estudio concluye que densidades superiores a 3 333 árboles ha⁻¹ comprometen la fertilidad edáfica, recomendándose mantener densidades bajas o moderadas para garantizar productividad sostenible y calidad del suelo. Este estudio resulta relevante al demostrar cómo el manejo silvícola mediante densidades adecuadas puede influir directamente en el comportamiento nutricional del suelo en sistemas forestales intensivos.

Martínez y Castillo (2013), evaluó el establecimiento de tres especies forestales en la unidad experimental finca el Plantel, Nicaragua; las especies para la plantación (*Hymenea courbaril*, *Tabebuia ochracea* y *Caesalpinia violácea*) se estableció en parcelas con dimensiones de 15m*15m con un distanciamiento de 3*3m entre cada planta, por especie se evaluó a 48 individuos. La plantación obtuvo una sobrevivencia global del 63% siendo *C. violácea* la especie que obtuvo mayor porcentaje 69%, el *Caesalpinia violácea* incremento en altura con 123,3cm; *Hymenea courbaril* incremento en diámetro (4.43 mm). Las especies *T. ochracea* y *C. violacea* registraron más del 80% de individuos afectados por defoliación ocasionada por zompopos del género *Atta cephalotus*; en contraste, *Hymenaea courbaril* no presentó daños visibles.

Boyden et al. (2009) evaluaron cómo la densidad de plantación y la ontogenia influyen en el tamaño y las tasas de crecimiento de tres especies arbóreas (*Liquidambar styraciflua*, *Quercus pagoda* y *Pinus taeda*) en condiciones de competencia en una plantación joven. Los resultados indicaron que el efecto de la densidad varía según la etapa ontogenética y la especie, afectando el crecimiento relativo y el rango de dominancia. En particular, el incremento en biomasa y altura fue más sensible a la competencia interespecífica en densidades altas, evidenciando que el entorno competitivo influye directamente en la dinámica de crecimiento. Este estudio subraya la importancia de considerar la densidad inicial y la biología de la especie en el diseño de plantaciones forestales, debido a su impacto en la jerarquía estructural y la eficiencia del uso de recursos, aspectos clave para un manejo forestal sostenible.

Ferrere et al. (2005) investigaron el efecto de la densidad inicial de plantación en el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Mediante un diseño Nelder modificado que evaluó densidades entre 582 y 2,083 plantas/ha

durante una década, el estudio encontró que una densidad reducida hasta 761 plantas/ha incrementaba el crecimiento en diámetro. Los tratamientos de densidad intermedia mostraron la mayor área basal, y a los seis años se observaron diferencias significativas en la densidad de la madera. Con base en estos resultados, los autores concluyeron que una densidad de 1,095 plantas por hectárea es la óptima para equilibrar un buen crecimiento individual con la productividad del rodal.

2.2.2. Nacional

Gstir (2008), se evaluó el efecto de tres abonos orgánicos y determinación de costos en la etapa de establecimiento de *Acrocarpus fraxinifolius* en una pastura de *Brachiaria decumbens* en el codo del pozuzo, provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco; en una área de 11 200m² donde se estableció cuatro bloques con cuatro subparcelas con cuatro tratamientos de estudio, en un diseño DBCA, donde se utilizó 256 plantones de *Acrocarpus fraxinifolius* con una edad de 2 meses y una altura de 13.5cm el método empleado fue el triángulo con un distanciamiento de 16m * 8.5m * 8.5m. El uso del estiércol de vacuno mostro un incremento en altura y diámetro de plantas en la etapa de establecimiento (83.23 cm de altura y 16.08mm de diámetro). El costo de la instalación por hectárea y mantenimiento de un sistema silvopastoril con la *Acrocarpus fraxinifolius* en una pastura, varían entre S/. 1 469,87 hasta S/. 1 542,37, variando de acuerdo con el fertilizante que se emplea.

Cabrera (2014) menciona en su investigación sobre la especie *Guazuma crinita* a diferente distanciamiento, con el fin de determinar el comportamiento silvicultural. En la metodología se llevó a cabo el siguiente distanciamiento: T₁ (2,5 x 2,5 con una densidad de 1600 plantas), T₂ (3,0 X 3,0 con una densidad de 1111 plantas), T₃ (3,5 x 3,5 con una densidad de 816 plantas), T₄ (4,0 x 4,0 con una densidad de 625 plantas). En los resultados a los 24 meses se obtuvo en la variable altura como mejor tratamiento T₁ (2,5 x 2,5) con 13,18 m; para el caso de la variable diámetro el mejor tratamiento T₃ (3,5 x 3,5) con 13,35 cm; por otro lado, para el caso de las propiedades químicas se obtuvo el mejor resultado con el tratamiento T₁ (2,5 x 2,5) con pH de 7,50, en la M.O. un 0,77%, en N. un 0,03%, en P. un 8,17 ppm, en CIC un 22,46, en Ca un 20,76 ppm, en Mg un 1,18 ppm, en K un 0,21ppm.

2.2.3. Local

Infante (2022), determinó la influencia de diferentes densidades de siembra de *Guazuma crinita* “bolaina blanca” en la fertilidad de suelos en Tulumayo, Tingo María, la cual utilizó

diversas metodologías donde seleccionaba 5 árboles con buen estado fitosanitario y con las mismas características, el diseño fue DBCA con 4 tratamientos (densidad de siembra) con 4 repeticiones, con un total de 20 árboles; realizó monolitos de 30cm de profundidad en cada árbol, se tamizó con mallas 2 a 4 mm según la determinación. Los suelos de las cuatro densidades evaluadas presentan un perfil edáfico similar, condicionado por la pendiente del 1%. Sin embargo, la densidad de siembra de *Guazuma crinita* mostró una influencia significativa sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Al analizar la fertilidad en los cuatro tratamientos, considerando los indicadores físicos y químicos, se determinó que la densidad T1 (2,5 × 2,5 m) alcanzó los mejores niveles de fertilidad.

Minaya (2013) en su investigación de cinco especies en la ciudad de Aucayacu, con la finalidad de determinar el desarrollo en el ámbito silvicultural se llevó a cabo la siguiente investigación. En la metodología se empleó las siguientes especies: *Switenia macrophylla*, *Cedrela lilloi*, *Calycophyllum spruceanum*, *Schizolobium parahyba*, *Guazuma crinita*, donde se utilizó como sistema de plantación el método de tres bolillo, a una distancia de 4.5 m. Como resultado se obtuvo un incremento en altura total de 6,26 m para la especie *Guazuma crinita*, un 6,10 m para la especie *Schizolobium parahyba*, un 3,94 m para la especie *Calycophyllum spruceanum*, un 3,35 m para la especie *Cedrela lilloi*, un 2,50 m para la especie *Switenia macrophylla*; para el caso de la variable de incremento en el diámetro presentó un 8,14 cm para la especie *Schizolobium parahyba*, un 7,96 cm para la especie *Guazuma crinita*, un 5,62 cm para la especie *Cedrela lilloi*, un 5,23 cm para la especie *Calycophyllum spruceanum*, un 3,73 cm para la especie *Switenia macrophylla*.

Solorzano (2013) en su investigación de sobre la especie *Swietenia macrophylla* en campo definitivo en la ciudad de Tingo María, con la finalidad de determinar las variables biométricas de la especie forestal. En la metodología se empleó el sistema de siembra fue de 3 x 4 m, con método de plantación de forma rectangular. Como resultado en la variable altura total con una media de 214,59 cm y en la variable diámetro se obtuvo un 3,32 cm.

Fernandez (2013) en su estudio sobre la especie *Guazuma crinita* en la siembra de diversas densidades en Aucayacu, con la finalidad de determinar las variables dasométricas de la especie forestal. En la metodología se emplearon los siguientes distanciamientos: T₁ (2,5 x 2,5- con una densidad de 1600 plantas), T₂ (3,0 x 3,0- con una densidad de 1111 plantas), T₃ (3,5 x 3,5- con una densidad de 816 plantas), T₄ (4,0 x 4,0- con una densidad de 625 plantas). Como resultado se obtuvo en la variable de incremento de altura con la densidad de (2,5 x 2,5)

se presentó un 4,82 m, fue el mejor tratamiento para dicha variable; por otro lado, en la variable incremento de diámetro con la densidad de (2,5 x 2,5) se presentó un 7,21 cm, siendo superior ante los demás, finalmente en las propiedades químicas se obtuvo como mejor tratamientos al distanciamiento (2,5 x 2,5) con un pH de 7,68, en la M.O. un 2,80%, en N. un 0,13 %, en P. un 12,39 ppm, en CIC un 25,06, en Ca un 23,04 ppm, en Mg un 1,38 ppm, en K un 0,33 ppm.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo (CIPTALD), ubicado en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente, el área de estudio estuvo localizada en las coordenadas Este 385287 y Norte 8991130, a una altitud de 615 metros sobre el nivel del mar.

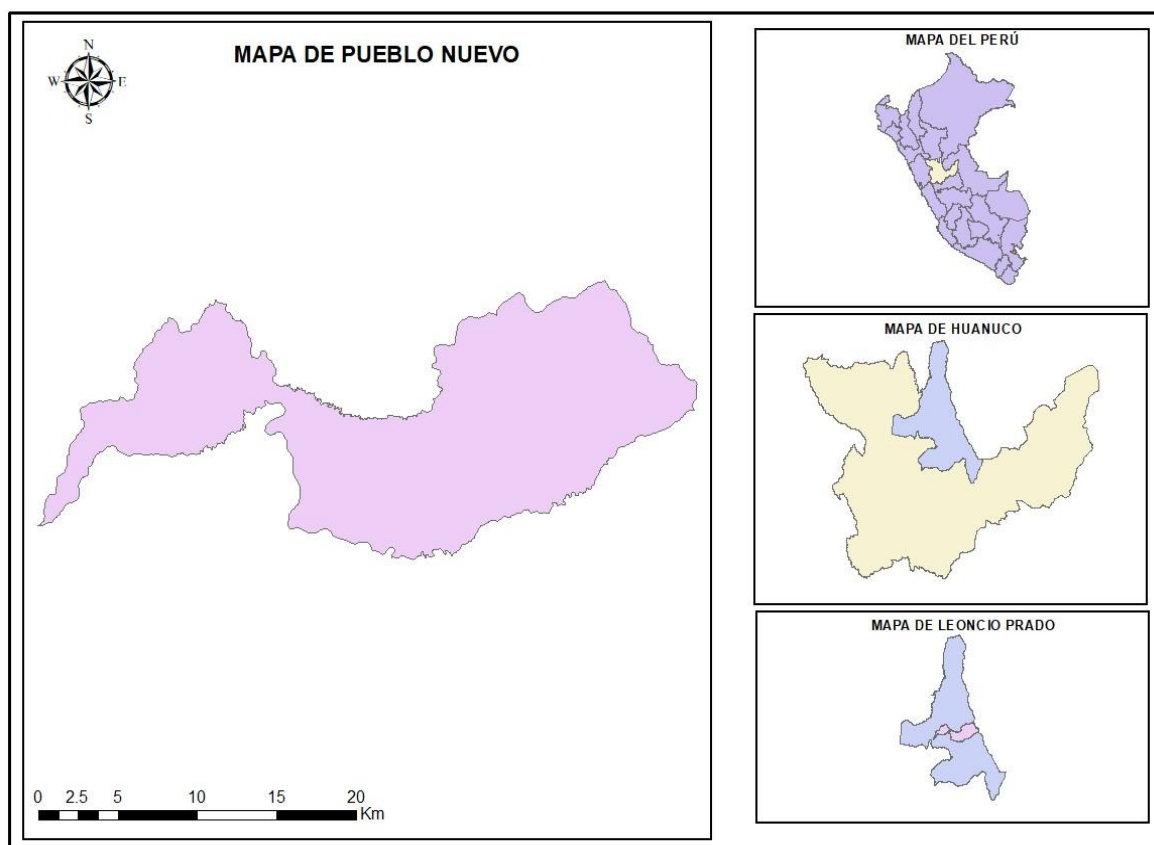


Figura 1. Ubicación del área donde se realizar la investigación

3.1.3. Zona de vida

El área de estudio se ubica dentro de la formación de bosque muy húmedo premontano tropical (Bmh-pt) según la clasificación de Holdridge (1987). Presenta una

precipitación media anual de 3300 mm y una temperatura promedio de 24 °C, concentrándose las lluvias más intensas entre los meses de noviembre y marzo.

3.1.4. Condiciones climáticas

El clima del Centro de Investigación y Producción Tulumayo (CIPTALD), en Pueblo Nuevo, presenta una temperatura media anual de 24,2 °C, con escasa variación a lo largo del año. La precipitación total anual alcanza 2755,8 mm, concentrándose entre noviembre y abril, mientras que los meses más secos son julio y agosto. Estas condiciones indican un clima cálido húmedo tropical, característico de la ceja de selva, favorable para el desarrollo de especies forestales y cultivos perennes.

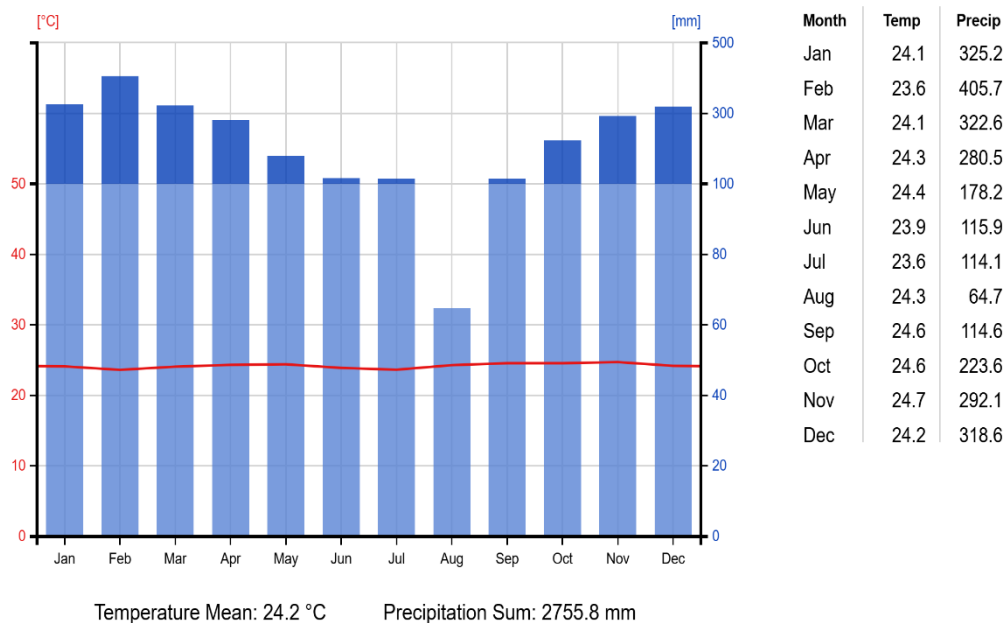


Figura 1. Condiciones climáticas del área de estudio

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetativo

Plantones de *S. amazonicum* y *S. parahyba*

3.2.2. Materiales y equipos de campo

Para la ejecución del estudio se emplearon diversos instrumentos de campo, incluyendo una cinta métrica de 50 m, un GPS, rafia, una pala cuadrada, machete, bolsas de polietileno, plástico, un vernier digital Kamasa y una wincha de 5 m. Estos materiales

permitieron realizar con precisión la delimitación de parcelas, el georreferenciamiento del área de estudio, así como la recolección y transporte adecuado de muestras de suelo y datos morfométricos de las especies forestales. El uso del vernier digital y la wincha fue fundamental para registrar con exactitud las dimensiones dasométricas, garantizando la fiabilidad de los datos en las evaluaciones periódicas.

3.3. Método

3.3.1. Incremento de altura y diámetro de *S. amazonicum* y *S. parahyba* a dos densidades de plantación

El área donde se instalaron los plántones de *S. amazonicum* y *S. parahyba* presentó una superficie con cobertura de vegetación arbórea y arbustiva. Previamente a la instalación, se realizó una limpieza del terreno con el propósito de eliminar la vegetación existente. Posteriormente, se procedió con la demarcación del terreno, considerando las densidades de siembra establecidas (2 x 2 m y 3.5 x 3.5 m). Para ello, se utilizó una cinta métrica de 50 m, la cual facilitó la ubicación precisa de los puntos de plantación. A fin de identificar visualmente el distanciamiento entre plantas, se colocaron jalones de aproximadamente 1 m de altura.

Cada parcela estuvo compuesta por cuatro hileras o líneas, con una separación de 5 m entre repeticiones, con el objetivo de evitar interferencias o interacciones entre los tratamientos aplicados. Para la delimitación de los distanciamientos se emplearon estacas debidamente codificadas, lo que permitió una identificación clara de las unidades experimentales.

3.3.1.1. Apertura de hoyos y obtención de plántones de *S. amazonicum* y *S. parahyba*

Los plántones de *S. amazonicum* y *S. parahyba* fueron adquiridos mediante compra directa, teniendo una edad aproximada de dos a tres meses al momento de la recepción. Durante el proceso de selección, se eligieron aquellos individuos que presentaban mayor uniformidad, ausencia de daños físicos, plagas o enfermedades, y evidencias de buen vigor fisiológico. Una vez delimitadas las parcelas y distribuidos los tratamientos según el diseño experimental, se procedió a la apertura de hoyos en cada punto de plantación, respetando los distanciamientos definidos tanto entre plantas como entre repeticiones. Las cavidades

excavadas presentaron dimensiones estandarizadas de 20 x 20 x 30 cm, adecuadas para el correcto establecimiento inicial de los plantones.

3.3.1.2. Limpieza y mantenimiento de la plantación

Con el objetivo de reducir la competencia por recursos entre la vegetación espontánea y los plantones de *S. amazonicum* y *S. parahyba*, se efectuaron labores de control de malezas de manera periódica. La eliminación de malezas se realizó utilizando herramientas manuales como machetes, así como desbrozadoras motorizadas, abarcando toda el área experimental. Esta actividad se llevó a cabo con una frecuencia mensual (cada 30 días), a lo largo de toda la fase de monitoreo del experimento.

El control regular de la cobertura herbácea no solo permitió disminuir la competencia por agua, luz y nutrientes durante la fase crítica de establecimiento, sino que también contribuyó a prevenir la proliferación de plagas e insectos fitófagos, los cuales suelen encontrar refugio en áreas con alta densidad de maleza. Esta práctica silvicultural fue clave para garantizar condiciones homogéneas de crecimiento y minimizar factores externos que pudieran sesgar los resultados del estudio.

3.3.1.3. Variables a evaluar

Con el propósito de evaluar el efecto de las densidades de plantación sobre el crecimiento de *S. amazonicum* y *S. parahyba*, se realizaron mediciones cada tres meses, completando un total de cuatro evaluaciones durante el período de estudio.

- Altura de la planta

La evaluación de la altura (m) en las plantas de *S. amazonicum* y *S. parahyba* se realizó midiendo desde la base del tallo hasta el ápice superior de cada individuo.

- Diámetro del tallo

Con respecto a la variable del diámetro (mm) de las plantas, la evaluación se realizó a una altura de 10 cm sobre la superficie del suelo. Previamente, se marcó de forma circular el punto de medición para asegurar la uniformidad en las cuatro evaluaciones. Para la toma de datos se utilizó un vernier digital.

3.3.2. Correlación de altura y diámetro en el crecimiento de *S. amazonicum* y *S. parahyba*

Se aplicó una prueba estadística con el propósito de analizar la relación entre dos variables cuantitativas medidas a nivel de intervalo o razón, correspondientes a la altura y el diámetro en el crecimiento de plantones de *S. amazonicum* y *S. parahyba*, considerando el efecto de las diferentes densidades de siembra. Previo a esta prueba se realizó el supuesto de normalidad de Shapiro willl modificado, si los datos tuvieran una distribución normal, se utilizará el coeficiente de Correlación de Pearson (r), puede variar de -1.00 hasta +1.00, donde:

-1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

-0.10 = Correlación negativa muy débil.

3.3.3. Supervivencia de dos especies forestales a dos unidades de plantación en Tulumayo

Esta variable fue evaluada durante un periodo de nueve meses y se expresó como la relación porcentual entre el número de individuos establecidos al inicio de la plantación y los sobrevivientes al final del periodo de evaluación. Para su cálculo, se empleó la fórmula propuesta por Centeno (1993).

$$\% \text{ sobrevivencia} = \text{PF} / \text{PI} * 100$$

Donde:

PI : Numero de plantas al inicio de evaluación

PF = Numero de plantas al final de evaluación

3.3.4. Propiedades químicas del suelo de *S. amazonicum* y *S. parahyba* a dos densidades de siembra

Con la finalidad de evaluar cómo influyeron las dos especies forestales (*S. amazonicum* y *S. parahyba*) establecidas a dos densidades de siembra sobre las propiedades químicas del suelo, se realizó un análisis comparativo entre el estado inicial y final del experimento. Para ello, se llevó a cabo un muestreo de suelo por cada tratamiento y repetición (unidad experimental), obteniéndose una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg por tratamiento. Estas muestras fueron secadas al aire a temperatura ambiente, tamizadas y posteriormente trasladadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Los análisis químicos se realizaron con metodologías estándar para determinar indicadores de fertilidad edáfica (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y cationes básicos). Estos resultados permitieron comparar el efecto de las especies y densidades sobre la dinámica de nutrientes del suelo.

Tabla 4. Parámetros químicos del suelo y método para su determinación

Parámetros químicos	Método empleado
Ph (1:1)	Potenciómetro, relación suelo agua 1:1
Materia orgánica (%)	Walkley y Black
Nitrógeno (%)	% M.O X 0.05
Fosforo disponible (ppm)	Olsen modificado
Potasio disponible (ppm)	Desplazamiento con acetato de Amonio 1N Ph: 7.0
Cationes cambiabiles (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+}), para suelos con $\text{pH} > 5.5$	Reemplazamiento con acetato de amonio 1N Ph:7.0 (cuantificado por EAA)
Cationes cambiabiles (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+}), para suelos con $\text{Ph} < 5.5$	Reemplazamiento con cloruro de potasio 1N: cuantificado el Ca^{+2} , Mg^{+2} por EAA y método de Yuan para Al^{+3} , H^{+}
CIC	Suma de cationes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , k^{+}
CICe	Suma de cationes (Ca^{+2} , k^{+} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H^{+}

3.4. Tipo, nivel y diseño de investigación

34.1. Tipo

El estudio se enmarca en el enfoque de investigación aplicada, ya que su propósito central es generar conocimientos orientados a la solución de un problema práctico en el ámbito de la silvicultura y el manejo forestal. Esta investigación no se limita a comprender los fenómenos ecológicos relacionados con el crecimiento de especies forestales, sino que busca aplicar dichos conocimientos para optimizar prácticas de establecimiento y manejo de plantaciones forestales en condiciones edafoclimáticas específicas.

34.2. Nivel

En cuanto al nivel de investigación, el presente estudio se clasifica como una investigación explicativa. Según Hernández Sampieri et al. (2014), este nivel de investigación no solo se orienta a describir o correlacionar variables, sino que busca identificar las causas o los efectos que explican un fenómeno.

En este caso, la investigación tiene como finalidad explicar cómo influye la densidad de plantación sobre el crecimiento (altura y diámetro), la supervivencia y las propiedades químicas del suelo en dos especies forestales tropicales: *S. amazonicum* y *S. parahyba*. A través de la manipulación deliberada de la variable independiente (densidad de plantación) y el seguimiento sistemático de variables dependientes (crecimiento, supervivencia y parámetros químicos del suelo), se establece una relación de causa-efecto que permite entender las dinámicas de desarrollo forestal en condiciones específicas.

El enfoque explicativo se evidencia también en el uso de pruebas estadísticas inferenciales (como la prueba T de Student y análisis de correlación de Pearson), que permiten determinar con rigor científico si las diferencias observadas son significativas y cómo se relacionan con los tratamientos aplicados. Por tanto, el estudio no se limita a observar o describir fenómenos, sino que busca comprender las razones por las cuales ocurren ciertas respuestas silvícolas y edáficas bajo diferentes condiciones de manejo.

34.3. Diseño de investigación

El presente estudio fue de tipo experimental, dado que se manipularon deliberadamente las variables independientes: la densidad de plantación (2 m x 2 m y 3.5 m x 3.5 m) y las especies forestales (*S. amazonicum* y *S. parahyba*), con el objetivo de observar su efecto sobre el crecimiento, la supervivencia y las propiedades químicas del suelo. De acuerdo con

Hernández Sampieri, este enfoque permite establecer relaciones de causa-efecto bajo condiciones controladas. Antes del análisis estadístico, se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk modificado. Tras confirmar la normalidad de los datos, se aplicaron pruebas paramétricas, específicamente la prueba T de Student para muestras independientes, con el fin de comparar estadísticamente las especies en cada densidad de plantación. Esta prueba fue adecuada al diseño y permitió detectar diferencias significativas en las variables evaluadas.

Tabla 2. Factores y niveles de la investigación

Especies (A)	Densidad (B)
<i>S. amazonicum</i> (a_1)	2 x 2 m (b_1)
	3.5 x 3.5 m (b_2)
<i>S. parahyba</i> (a_2)	2 x 2 m (b_1)
	3.5 x 3.5 m (b_2)

En la **Figura 2** se muestra el diseño de la parcela en donde se tuvo 40 plantas por densidad de plantación teniendo en cuentas a las dos especies en estudio

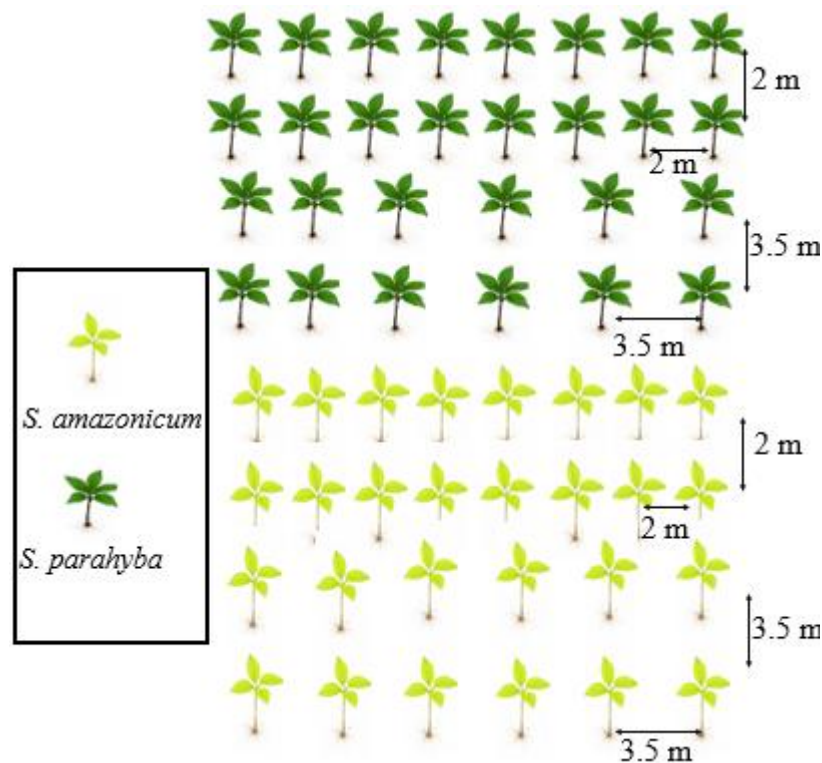


Figura 2. Croquis de la distribución de plantones y densidades

Variables en estudio

a. Variables independientes

- Especies (*S. amazonicum* y *S. parahyba*)
- Densidad de plantación (2m x 2 m, 3.5 m x 3.5 m)

b. Variables dependientes

- Altura (cm)
- Diámetro (mm)
- porcentaje de sobrevivencia
- Propiedades químicas

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Incremento de altura (m) y diámetro (mm) de dos especies a dos densidades de plantación

4.1.1. Altura (m)

Durante la investigación, se evaluó el incremento en altura de *S. parahyba* establecida bajo dos densidades de plantación: 2 m x 2 m y 3.5 m x 3.5 m. Las mediciones se realizaron cada tres meses, con el objetivo de identificar diferencias significativas en la respuesta en crecimiento vertical entre ambas condiciones de establecimiento. Para ello, se aplicó la prueba T de Student, considerando un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$) y tomando como referencia el valor de p (p-valor) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas.

En la primera evaluación, correspondiente a los tres meses después de la instalación, se obtuvo un p-valor de 0.0427. Este resultado evidencia la existencia de una diferencia significativa entre las densidades analizadas, lo cual sugiere que el incremento en altura estuvo influenciado por la disposición espacial de los individuos. La media de crecimiento fue mayor en la densidad de 2 m x 2 m (0.53 m) frente a la densidad de 3.5 m x 3.5 m (0.4 m), lo que indicaría una mayor competencia intraespecífica por luz, estimulando el crecimiento apical de los árboles en condiciones de mayor densidad.

A los seis meses, el análisis estadístico arrojó un p-valor de 0.0015, indicando una diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Nuevamente, la densidad de 2 m x 2 m presentó un crecimiento superior (1.16 m), en comparación con la densidad de 3.5 m x 3.5 m (0.8 m). Este comportamiento reafirma la hipótesis de que una mayor densidad de plantación promueve el incremento en altura en los primeros meses de establecimiento, posiblemente como mecanismo adaptativo ante la mayor competencia vertical por recursos lumínicos.

En la tercera evaluación, realizada a los nueve meses, se observó un p-valor de 0.0001, evidenciando una diferencia muy significativa entre ambas densidades. El incremento promedio en altura alcanzó los 2.28 m para la densidad de 2 m x 2 m, mientras que en la densidad de 3.5 m x 3.5 m fue de 1.49 m. Esta tendencia sostenida en el tiempo indica que el efecto positivo de la mayor densidad sobre el crecimiento en altura se mantiene al menos durante el primer año de establecimiento. Este resultado es coherente con lo reportado en estudios silvícolas, donde se ha documentado que la competencia por luz en altas densidades induce una mayor elongación del tallo como respuesta adaptativa.

En conjunto, los resultados de las tres evaluaciones permiten concluir que la densidad de plantación influye significativamente en el incremento en altura de la especie forestal evaluada, siendo la densidad de 2 m x 2 m la que favorece un mayor crecimiento en este componente. Esta información resulta valiosa para el diseño de estrategias de establecimiento en plantaciones forestales, especialmente cuando se prioriza el crecimiento vertical durante las fases iniciales de desarrollo (**Tabla 4 y Figura 2**).

Tabla 4. Prueba T Student para altura (m) en dos densidades de plantación de *S. parahyba*

Tiempo	Densidad	N	Media	pHomVar	T	p-valor
3 meses	2 m x 2 m	38	0.53	0.8358	2.06	0.0427*
	3.5 m x 3.5 m	36	0.4			
6 meses	2 m x 2 m	38	1.16	0.3885	3.29	0.0015*
	3.5 m x 3.5 m	36	0.8			
9 meses	2 m x 2 m	38	2.28	0.532	4.26	0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	1.49			

*: significativo; **: altamente significativo

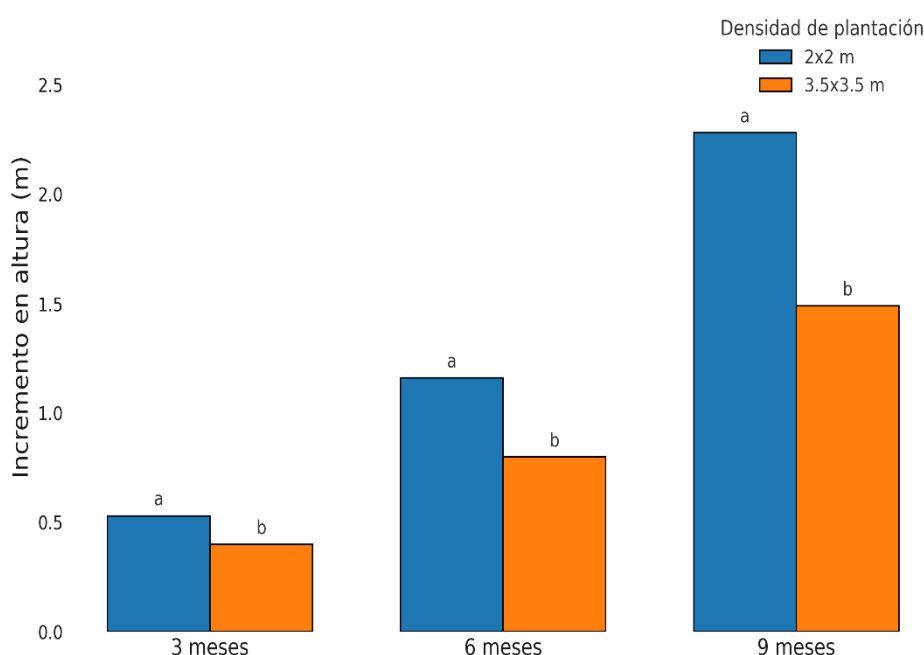


Figura 2. Comparación de medias de incremento de altura en dos densidades en *S. parahyba*

Los resultados del análisis de comparación de medias mediante la prueba T de Student evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en el incremento en altura de *S. amazonica* bajo dos densidades de plantación (2 m x 2 m y 3.5 m x 3.5 m) durante los tres periodos de evaluación. A los 3 meses, se observó un incremento promedio de 0.29 m para la densidad de 2 m x 2 m y de 0.48 m para la densidad de 3.5 m x 3.5 m, siendo esta diferencia

altamente significativa ($p < 0.0001$). Esta tendencia se mantuvo a los 6 meses, con promedios de 0.58 m y 0.95 m, respectivamente, y un valor de p también inferior a 0.0001. Finalmente, a los 9 meses, el crecimiento promedio alcanzó 1.37 m en la densidad más estrecha y 1.82 m en la densidad más amplia, con un p -valor de 0.0004, indicando una diferencia estadísticamente significativa.

A diferencia de otras especies donde densidades más altas pueden inducir un crecimiento apical acelerado por competencia lumínica, en el caso de *S. amazonica* se evidenció que una menor densidad (3.5 m x 3.5 m) favoreció consistentemente el incremento en altura. Este comportamiento puede atribuirse a la alta sensibilidad de la especie a la competencia interespecífica e intraespecífica por recursos, especialmente durante sus primeras fases de desarrollo. En densidades reducidas, los individuos disponen de mayor disponibilidad de luz, espacio para el desarrollo radicular y menor competencia por nutrientes y agua, condiciones que probablemente influyeron positivamente en el vigor y la elongación del fuste.

Estos resultados sugieren que *S. amazonicum* presenta una mejor respuesta en términos de crecimiento en altura cuando se establece en condiciones de espaciamiento superior. Esta información es relevante para el diseño de plantación en sistemas silvícolas, ya que un adecuado distanciamiento puede contribuir a optimizar el rendimiento en altura sin comprometer la estabilidad estructural de los árboles en estadios tempranos. Además, resalta la importancia de considerar la ecología específica de cada especie al momento de definir la densidad de plantación (**Tabla 5** y **Figura 3**).

Tabla 5. Prueba T Student para altura (m) en dos densidades de plantación de *S. amazonicum*

Tiempo	Densidad	N	Media	pHomVar	T	p-valor
3 meses	2 m x 2 m	38	0.29	0.0061	-4.56	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	0.48			
6 meses	2 m x 2 m	38	0.58	0.0016	-4.59	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	0.95			
9 meses	2 m x 2 m	38	1.37	0.0008	-3.75	0.0004**
	3.5 m x 3.5 m	36	1.82			

** : altamente significativo

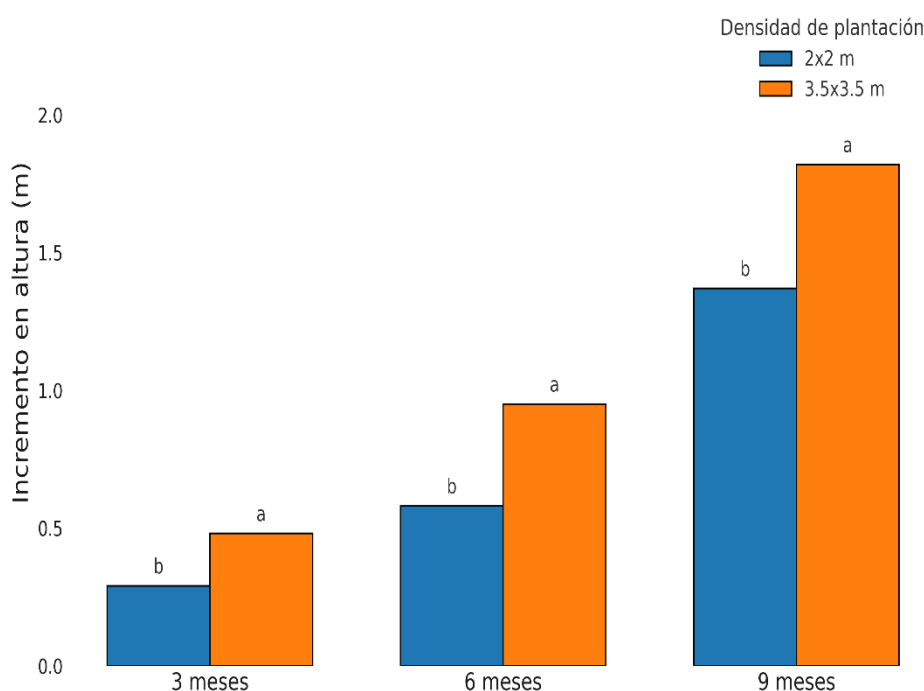


Figura 3. Comparación de medias de incremento de altura en dos densidades en *S. amazonicum*

Los resultados obtenidos para *Schizolobium parahyba* indican que la mayor densidad (2 m x 2 m) promovió un incremento significativamente superior en altura en todas las evaluaciones. Este comportamiento coincide con lo reportado por Gabira et al. (2023), quienes concluyen que mayores densidades pueden inducir un crecimiento vertical acelerado debido a la competencia lumínica intraespecífica, favoreciendo la elongación del fuste. Asimismo, Boyden et al. (2009) observaron que, en especies con crecimiento competitivo, el entorno denso estimula el desarrollo apical, lo que se asemeja al patrón evidenciado en *S. parahyba*.

Sin embargo, este patrón no fue replicado en *Schizolobium amazonicum*, donde se obtuvo un mayor crecimiento en altura bajo la densidad más baja (3.5 m x 3.5 m). Este resultado difiere de lo observado por Tinkham et al. (2021), quienes reportaron que densidades intermedias optimizan el crecimiento. No obstante, el comportamiento de *S. amazonicum* podría explicarse por su alta sensibilidad a la competencia por recursos edáficos y lumínicos, como también se plantea en estudios de Arias-Aguilar et al. (2020), quienes identificaron que densidades elevadas generan mayor mortalidad y reducen el rendimiento en algunas especies.

La diferenciación de comportamiento entre las dos especies también puede vincularse a sus estrategias ecológicas. Mientras *S. parahyba* responde favorablemente al sombreado inicial con crecimiento apical vigoroso, *S. amazonicum* parece requerir mayor disponibilidad de recursos para expresar su máximo potencial en altura, similar a lo mencionado por

Selvalakshmi et al. (2022), quienes encontraron que una menor densidad favorece la calidad del suelo y la biomasa en especies menos tolerantes a la competencia.

Finalmente, los resultados de Minaya (2013) y Fernández (2013) en plantaciones jóvenes de *S. parahyba* en condiciones similares al estudio actual, revelaron incrementos superiores a 6 m en los primeros años, lo que corrobora su rápido desarrollo inicial y valida su uso en sistemas intensivos con alta densidad, alineándose con los resultados obtenidos en esta investigación.

4.1.2. Diámetro (mm)

El análisis de las diferencias en el crecimiento diamétrico de *Schizolobium parahyba* mediante la prueba T de Student reveló diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) en todas las evaluaciones temporales realizadas. A los 3 meses después de la instalación, los individuos establecidos en la densidad de 3.5 m x 3.5 m presentaron un diámetro promedio de 7.68 mm, valor significativamente superior al registrado en la densidad de 2 m x 2 m (4.48 mm). Esta diferencia temprana sugiere que la menor presión de competencia en el espaciamiento más amplio permitió un mayor desarrollo del crecimiento radial inicial.

A los 6 meses, se mantuvo el mismo patrón de respuesta. Los árboles en la densidad de 3.5 m x 3.5 m alcanzaron un diámetro promedio de 15.59 mm, mientras que en la densidad más estrecha fue de 9.03 mm, siendo esta diferencia también altamente significativa ($p < 0.0001$). Este comportamiento reafirma la influencia del arreglo espacial sobre la tasa de incremento diamétrico, al reducirse la competencia por recursos edáficos y lumínicos. En condiciones de espaciamiento amplio, la especie maximiza su capacidad de interceptación de luz y expansión del sistema radicular, factores clave en la acumulación de biomasa secundaria.

En la evaluación correspondiente a los 9 meses, se evidenció nuevamente una diferencia altamente significativa ($p < 0.0001$) entre ambas densidades. La densidad de 3.5 m x 3.5 m alcanzó un diámetro promedio de 22.69 mm, en comparación con los 12.93 mm observados en la densidad de 2 m x 2 m. La magnitud de esta diferencia sugiere que *S. parahyba* exhibe una marcada sensibilidad a la competencia espacial en sus fases iniciales de establecimiento, y que el espaciamiento amplio permite expresar con mayor eficacia su potencial de crecimiento radial.

Desde una perspectiva silvicultural, estos resultados evidencian que *S. parahyba* presenta un patrón de crecimiento diamétrico significativamente más acelerado bajo condiciones de baja densidad de plantación. Este comportamiento se debe probablemente a su estrategia ecológica como especie pionera, con alta demanda de luz y elevada tasa de

crecimiento. La menor densidad de individuos por hectárea reduce el índice de área foliar total por unidad de superficie, disminuye la competencia por nutrientes y agua, y mejora las condiciones de aireación y disponibilidad lumínica en el estrato inferior. Como consecuencia, se incrementa la tasa de crecimiento en grosor del fuste, lo cual es deseable en sistemas de producción orientados a la obtención de madera aserrada de rápido crecimiento.

En resumen, los resultados obtenidos a lo largo de las tres evaluaciones confirman que la densidad de 3.5 m x 3.5 m favorece significativamente el incremento en diámetro de *Schizolobium parahyba*, lo que debe ser considerado como criterio técnico clave en la formulación de planes de establecimiento y manejo silvicultural en plantaciones comerciales de esta especie (Tabla 6 y Figura 4).

Tabla 6. Prueba T Student para diámetro (mm) en dos densidades de plantación de *S. parahyba*

Tiempo	Densidad	N	Media	pHomVar	T	p-valor
3 meses	2 m x 2 m	38	4.48	<0.0001	-5.08	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	7.68			
6 meses	2 m x 2 m	38	9.03	<0.0001	-5.29	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	15.59			
9 meses	2 m x 2 m	38	12.93	0.0001	-5.75	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	22.69			

** : altamente significativo

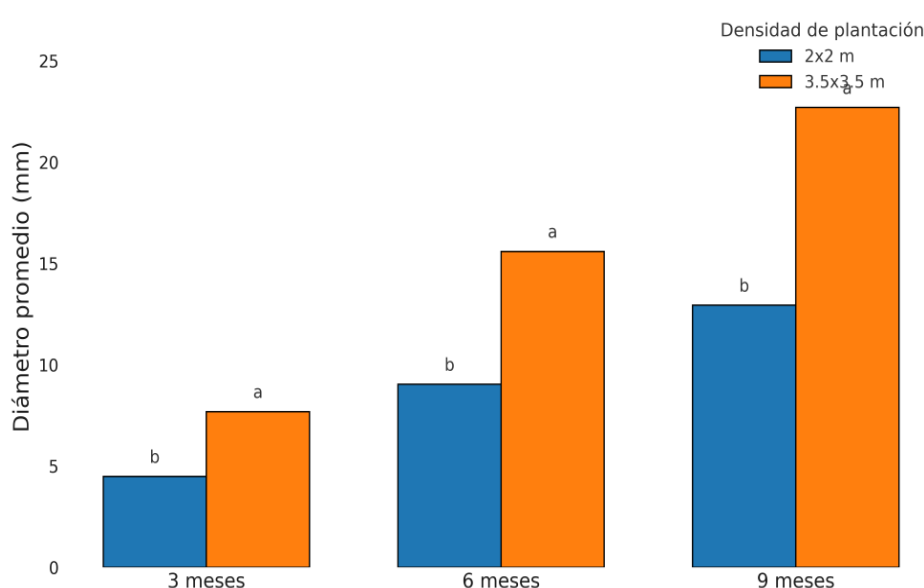


Figura 4. Comparación de medias de incremento de diámetro (mm) en dos densidades en *S. parahyba*

El análisis de crecimiento diamétrico de *S. amazonica* en función del arreglo espacial evidenció diferencias altamente significativas en las tres evaluaciones realizadas, conforme lo indican los valores de p (< 0.0001) obtenidos en la prueba T de Student. Estas diferencias se manifestaron a favor del espaciamiento más amplio (3.5 m x 3.5 m), el cual mostró un mayor desarrollo diamétrico en comparación con el arreglo más denso (2 m x 2 m).

En la evaluación realizada a los 3 meses, el diámetro promedio alcanzado por los árboles en la densidad de 3.5 m x 3.5 m fue de 7.48 mm, mientras que en la densidad de 2 m x 2 m fue de 4.81 mm. Esta diferencia, estadísticamente significativa ($p < 0.0001$), puede atribuirse a una menor competencia interespecífica e intraespecífica por recursos edáficos y luz, lo que permite una mayor disponibilidad de factores esenciales para el crecimiento radial.

Durante la evaluación a los 6 meses, se mantuvo la tendencia observada inicialmente. Los árboles establecidos a 3.5 m x 3.5 m presentaron un diámetro promedio de 14.99 mm, significativamente superior al registrado en 2 m x 2 m (9.8 mm), con un valor de p inferior a 0.0001. Este comportamiento reafirma que *S. amazonica* responde favorablemente a espaciamientos que reducen la competencia basal, permitiendo una mayor expansión del sistema radicular y un incremento sostenido en la actividad cambial.

En la evaluación final, a los 9 meses, se registró un incremento diamétrico promedio de 22.53 mm para la densidad de 3.5 m x 3.5 m, frente a los 14.78 mm obtenidos en la densidad de 2 m x 2 m. El valor de p (< 0.0001) confirma que esta diferencia es altamente significativa. La continuidad del patrón de superioridad diamétrica en el espaciamiento más amplio evidencia una estrategia silvicultural más eficiente para maximizar la tasa de incremento medio anual (IMA) en diámetro a edades tempranas (**Tabla 7 y Figura 5**).

Tabla 7. Prueba T Student para diámetro (mm) en dos densidades de plantación de *S. amazonica*

Tiempo	Densidad	N	Media	pHomVar	T	p-valor
3 meses	2 m x 2 m	38	4.81	0.0295	-5.47	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	7.48			
6 meses	2 m x 2 m	38	9.8	0.104	-5.14	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	14.99			
9 meses	2 m x 2 m	38	14.78	<0.0001	-5.81	<0.0001**
	3.5 m x 3.5 m	36	22.53			

** : altamente significativo

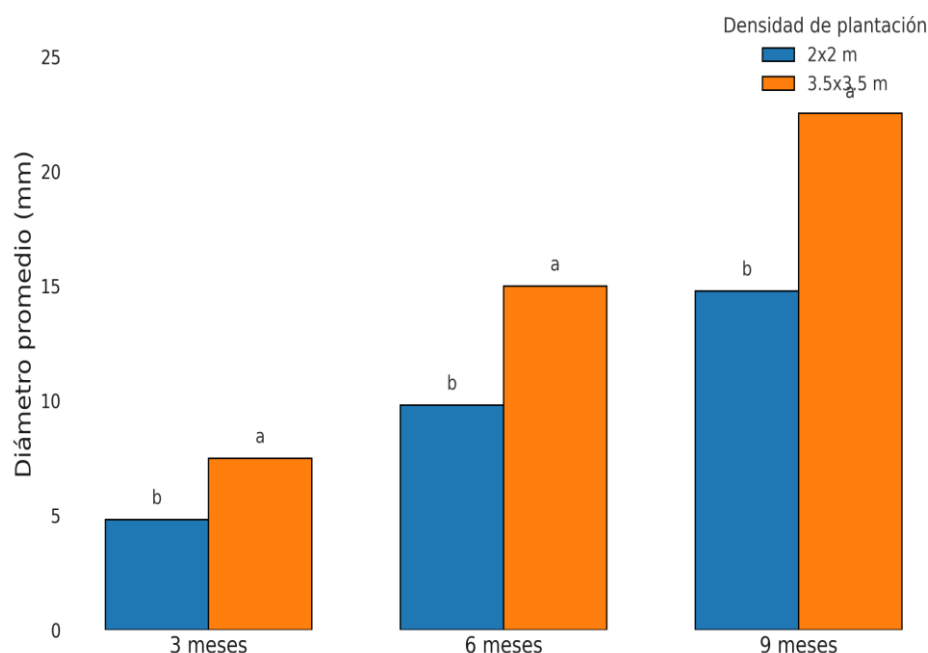


Figura 5. Comparación de medias de incremento de diámetro (mm) en dos densidades en *S. amazonicum*

Los resultados obtenidos muestran que tanto *S. parahyba* como *S. amazonicum* presentan un crecimiento diamétrico significativamente superior bajo la densidad de 3.5 m x 3.5 m, lo que refleja una marcada influencia del espaciamiento sobre la dinámica de crecimiento radial. Este comportamiento es coherente con lo reportado por Pretzsch (2020), quien evidenció que reducciones moderadas en la densidad permiten un mayor engrosamiento del fuste en árboles dominantes, debido a la disminución de competencia por luz y recursos edáficos.

Asimismo, Boyden et al. (2009) encontraron que en especies como *Liquidambar styraciflua* y *Quercus pagoda*, el incremento en diámetro fue más pronunciado en espaciamientos amplios, especialmente en fases ontogenéticas tempranas, lo cual se asemeja a la tendencia observada en ambas especies evaluadas en Tulumayo. En ese mismo sentido, Gabira et al. (2023) resaltaron que menores densidades favorecen el desarrollo individual, aunque comprometan el rendimiento por unidad de área, aspecto clave en plantaciones comerciales.

Particularmente en *S. parahyba*, estos resultados también coinciden con lo hallado por Olmedo et al. (2022), quienes demostraron que esta especie presenta alta plasticidad fenológica y capacidad de adaptación a variaciones espaciales y climáticas, favoreciendo su crecimiento radial en condiciones de baja competencia. A nivel local, los estudios de Minaya (2013) y

Cabrera (2014) también identificaron que *S. parahyba* alcanza incrementos diamétricos superiores en espaciamientos amplios, respaldando los hallazgos de esta investigación.

Por otro lado, en el caso de *S. amazonicum*, la consistencia de su crecimiento diamétrico bajo menor densidad también se relaciona con lo reportado por Selvalakshmi et al. (2022) y Duan et al. (2019), quienes concluyen que altas densidades reducen la disponibilidad de nutrientes y humedad en el suelo, afectando negativamente el vigor de especies con alta demanda edáfica. La tendencia encontrada en tu estudio reafirma que *S. amazonicum* se beneficia de arreglos espaciales más amplios que facilitan un mayor desarrollo del sistema radicular y favorecen el engrosamiento del fuste desde etapas tempranas.

Finalmente, esta evidencia sugiere que la selección de densidad debe considerar las estrategias funcionales y ecológicas de cada especie. Mientras que *S. parahyba* maximiza su potencial en altura bajo alta densidad, su crecimiento diamétrico se optimiza en baja densidad, patrón que se repite con mayor claridad en *S. amazonicum*. Por tanto, es fundamental ajustar las densidades de plantación en función del objetivo silvícola (volumen, calidad de madera o captura de carbono) y de la especie en estudio.

4.2. Correlación entre el crecimiento en altura (m) y diámetro (mm) de dos especies a dos densidades de plantación

La evaluación de la correlación de Pearson entre el tiempo y el incremento diamétrico de *Schizolobium parahyba* reveló contrastes marcados en la magnitud y significancia de la relación, dependiendo del arreglo espacial de plantación.

En la densidad de 2 m x 2 m, se observó una correlación negativa y no significativa en la evaluación a los 3 meses ($r = -0.08$; $p = 0.6447$), lo que sugiere que, en esta etapa inicial, no existía una relación clara entre el tiempo transcurrido y el crecimiento en diámetro. Esta falta de asociación podría estar relacionada con un efecto de establecimiento desigual, donde factores microambientales y la competencia temprana podrían haber interferido con la expresión uniforme del crecimiento.

Sin embargo, conforme avanzó el desarrollo, la correlación se hizo progresivamente más fuerte y significativa. A los 6 meses, se registró una correlación positiva moderada ($r = 0.52$; $p = 0.0007$), y a los 9 meses, esta aumentó a $r = 0.63$ con una significancia altamente robusta ($p < 0.0001$). Este patrón indica que, a medida que los árboles se estabilizaron

fisiológicamente y se consolidaron las condiciones de competencia, el crecimiento diamétrico comenzó a responder de forma más consistente al paso del tiempo. No obstante, la magnitud de la correlación sugiere que otros factores además del tiempo influyeron en el crecimiento bajo esta densidad más restrictiva.

En contraste, en la densidad de 3.5 m x 3.5 m, se observaron desde el inicio correlaciones muy fuertes y altamente significativas entre el tiempo y el diámetro en todas las evaluaciones. A los 3 meses, la correlación fue de $r = 0.89$ ($p < 0.0001$), aumentando levemente a $r = 0.91$ a los 6 meses, y manteniéndose elevada a los 9 meses ($r = 0.86$). Este comportamiento evidencia una respuesta de crecimiento diamétrico altamente dependiente del tiempo bajo condiciones de menor competencia, donde la disponibilidad de luz, agua y nutrientes no se ve severamente limitada. La linealidad y consistencia de la relación indican que el espaciamiento más amplio permite una expresión más homogénea y predecible del crecimiento en función del tiempo.

Desde un enfoque silvicultural, estos resultados sugieren que el patrón de crecimiento de *S. parahyba* se ve significativamente influenciado por el arreglo espacial de plantación. En espaciamientos amplios, el crecimiento diamétrico es más constante y lineal con el tiempo, lo que facilita la planificación de intervenciones silviculturales como raleos, podas o turnos de corta. Por el contrario, en densidades altas, la competencia temprana puede generar heterogeneidad en el desarrollo, limitando la predictibilidad y eficiencia del crecimiento (**Tabla 8 y Figura 6**),

Tabla 8. Correlación de Pearson de *S. parahyba* en dos densidades de plantación

Densidad	Pearson	Tiempo		
		3 meses	6 meses	9 meses
2 m x 2 m	r	-0.08	0.52	0.63
	p-valor	0.6447 ^{NS}	0.0007**	<0.0001**
3.5 m x 3.5 m	r	0.89	0.91	0.86
	p-valor	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**

NS: No significativo; **: altamente significativo

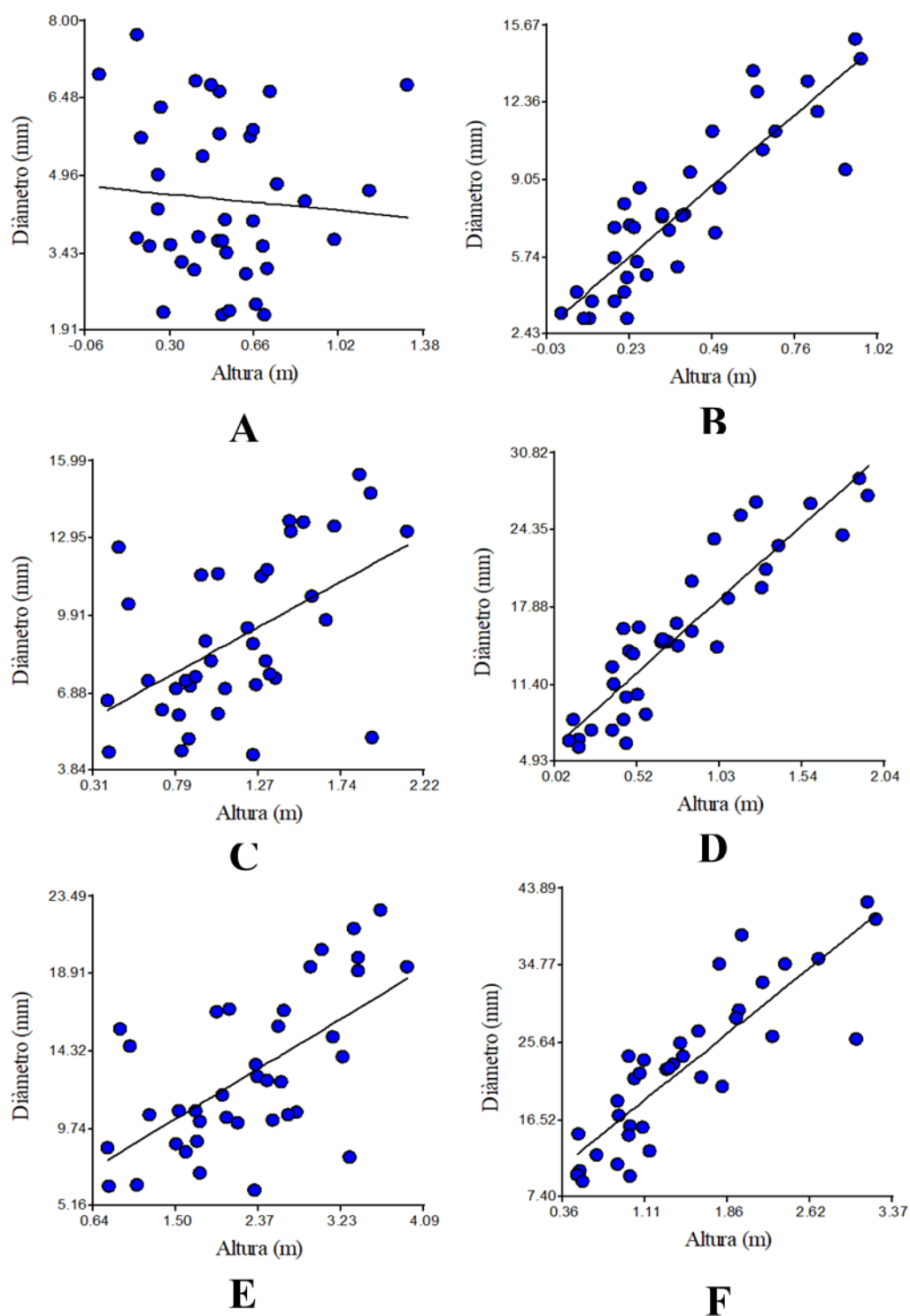


Figura 6. Grafica de correlación en *S. parahyba*: 3 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 6 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 9 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m.

El análisis de correlación de Pearson entre el tiempo y el crecimiento diamétrico de *Swietenia amazonica* evidenció asociaciones positivas, consistentes y estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en ambas densidades de plantación a lo largo de las tres evaluaciones

realizadas. En la densidad de 2 m x 2 m, se observó una correlación positiva moderada desde los primeros tres meses ($r = 0.62$), que se incrementó a $r = 0.72$ a los seis meses, y luego se mantuvo en un nivel similar a los nueve meses ($r = 0.64$). Estos valores indican que, a pesar de la competencia más intensa asociada a una mayor densidad de individuos por unidad de superficie, el crecimiento en diámetro mostró una relación estable con el tiempo. Esta respuesta puede explicarse por la capacidad adaptativa de *S. amazonicum* para crecer en condiciones de competencia moderada, aunque con cierta variabilidad interindividual en las tasas de crecimiento.

Por su parte, en la densidad de 3.5 m x 3.5 m, las correlaciones fueron consistentemente altas durante todo el periodo de evaluación, con valores de $r = 0.83$ en los tres y seis meses, y $r = 0.84$ a los nueve meses. Estos coeficientes indican una relación muy fuerte entre el crecimiento diamétrico y el tiempo transcurrido, lo que refleja un patrón de desarrollo más uniforme y predecible en condiciones de menor competencia. La amplia disponibilidad de recursos edáficos y lumínicos en este arreglo espacial permitió que los individuos expresaran su potencial silvicultural de manera más homogénea, lo que se tradujo en una mayor linealidad del crecimiento con el tiempo.

En conjunto, los resultados obtenidos en ambas densidades muestran que *S. amazonicum* presenta una alta sensibilidad al paso del tiempo en términos de incremento diamétrico, pero esta respuesta se ve amplificada bajo condiciones de espaciamiento amplio. Desde un enfoque operativo, estos hallazgos respaldan la implementación de densidades de plantación más abiertas para maximizar el rendimiento diamétrico en las etapas iniciales del turno forestal. Además, la alta correlación bajo espaciamientos amplios facilita la modelación del crecimiento y la programación de prácticas silviculturales orientadas a la producción de madera de calidad en ciclos relativamente cortos (**Tabla 9 y Figura 7**).

Tabla 9. Correlación de Pearson de *S. amazónica* en dos densidades de plantación

Densidad	Pearson	Tiempo		
		3 meses	6 meses	9 meses
2 m x 2 m	r	0.62	0.72	0.64
	p-valor	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**
3.5 m x 3.5 m	r	0.83	0.83	0.84
	p-valor	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**

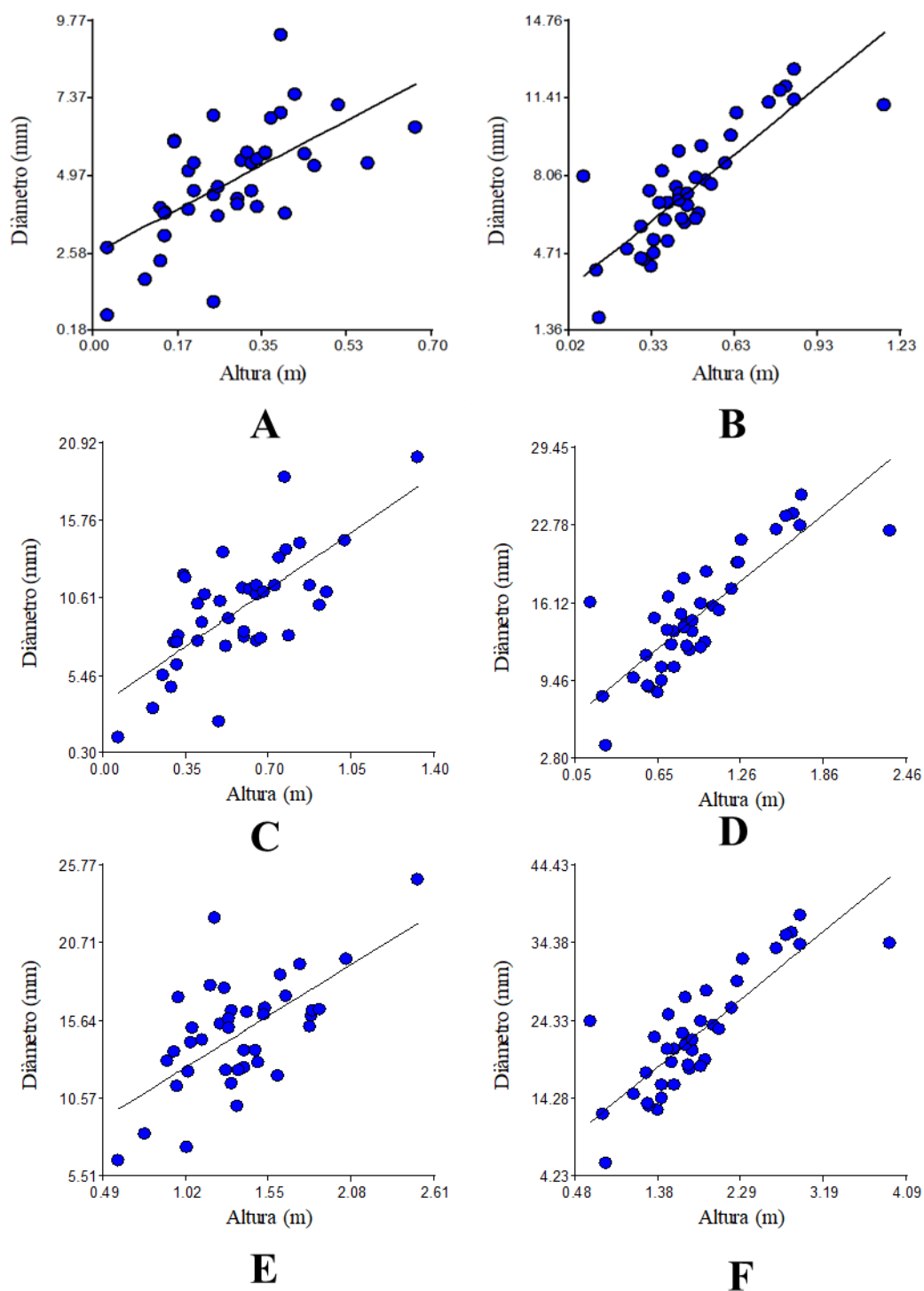


Figura 7. Gráfica de correlación en *S. amazonicum*: 3 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 6 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m; 9 meses A: 2 m x 2 m; B: 3.5 m x 3.5 m.

Los resultados de correlación evidencian que *S. parahyba* presenta una mayor linealidad y fuerza en su crecimiento diamétrico en función del tiempo cuando se establece bajo condiciones de espaciamiento amplio (3.5 m x 3.5 m), mientras que en alta densidad (2 m x

2 m), la correlación es inicialmente débil y se fortalece con el tiempo. Este patrón se asemeja a lo descrito por Boyden et al. (2009), quienes reportaron que las condiciones de competencia influyen en la predictibilidad del crecimiento, particularmente en fases tempranas. En densidades altas, la competencia interespecífica e intraespecífica genera respuestas más variables entre individuos, afectando la homogeneidad del desarrollo diamétrico.

Asimismo, el comportamiento observado en *S. parahyba* guarda relación con los hallazgos de Gabira et al. (2023), quienes enfatizan que la densidad de plantación, aunque impacta directamente en la productividad por área, también condiciona las respuestas fisiológicas individuales y la eficiencia en el uso de recursos. En el caso de tu estudio, bajo menor densidad, se favoreció un patrón más constante y robusto de crecimiento, coherente con lo reportado por Tinkham et al. (2021), donde densidades intermedias o bajas permitieron un desarrollo más balanceado entre competencia y crecimiento en *Pinus contorta*.

Para *S. amazonicum*, la alta y sostenida correlación del crecimiento diamétrico con el tiempo, en ambas densidades, indica una mayor estabilidad en la respuesta de esta especie frente al paso del tiempo, aunque con mejores resultados bajo espaciamiento amplio. Este comportamiento se alinea con las observaciones de Selvalakshmi et al. (2022) y Duan et al. (2019), quienes identificaron que especies establecidas en menores densidades presentan condiciones edáficas más favorables (mayor retención de nutrientes y menor competencia), lo cual mejora la eficiencia del crecimiento. En tu estudio, dicha eficiencia se refleja no solo en el incremento en diámetro, sino también en la fortaleza y constancia de la correlación con el tiempo.

En el caso particular de *S. parahyba*, los hallazgos también podrían estar influenciados por su estrategia ecológica como especie pionera, de rápido crecimiento y alta demanda lumínica, lo que concuerda con lo descrito por Olmedo et al. (2022), quienes identificaron que esta especie muestra una marcada sensibilidad al ambiente y elevada plasticidad fenológica y de crecimiento. En condiciones de baja competencia, *S. parahyba* puede expresar su potencial con mayor consistencia, reflejándose en correlaciones más fuertes y crecimiento más predecible.

Desde una perspectiva práctica, los resultados de correlación sustentan que en ambas especies, pero especialmente en *S. parahyba*, el espaciamiento amplio facilita la planificación y modelado del crecimiento en fases iniciales del turno forestal. Además, la alta correlación bajo menor densidad puede ser aprovechada en sistemas orientados a la producción de madera

de rápido crecimiento, optimizando decisiones de manejo como turnos de corta o prácticas de poda.

4.3. Porcentaje de supervivencia de dos especies forestales a dos densidades de plantación

Los resultados del monitoreo de supervivencia revelaron altos porcentajes de establecimiento exitoso en ambas especies y densidades evaluadas, lo cual indica una adecuada adaptación inicial a las condiciones edafoclimáticas del sitio de plantación.

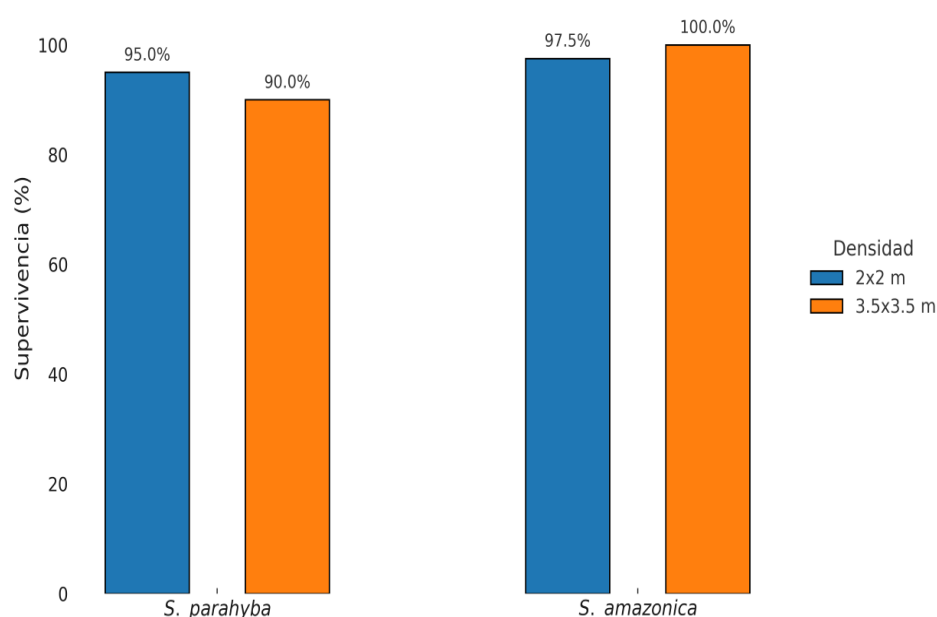
Para *Schizolobium parahyba*, se registró una supervivencia del 95 % en la densidad de 2 m x 2 m, mientras que en la densidad más amplia de 3.5 m x 3.5 m la supervivencia fue del 90 %. A pesar de que ambos valores se consideran técnicamente aceptables para fines silviculturales, el porcentaje ligeramente superior en la densidad más cerrada podría estar relacionado con el microambiente más protegido que ofrecen los individuos cercanos entre sí, reduciendo la exposición directa al viento y radiación solar excesiva durante las primeras etapas del establecimiento. No obstante, este patrón también puede responder a variaciones puntuales en la calidad del terreno o al manejo durante la plantación.

En el caso de *Swietenia amazonica*, los valores de supervivencia fueron aún más destacados. En la densidad de 2 m x 2 m, se obtuvo un 97.5 %, mientras que en la densidad de 3.5 m x 3.5 m se alcanzó el 100 % de supervivencia, evidenciando una alta capacidad de establecimiento de esta especie bajo ambas condiciones espaciales. La supervivencia total observada en el espaciamiento más amplio puede atribuirse a una menor competencia inmediata por recursos edáficos y a la facilidad de desarrollo del sistema radicular en suelos con menor presión de ocupación, lo que favorece un crecimiento inicial más saludable.

Desde el punto de vista silvicultural, ambos arreglos espaciales resultaron efectivos para el establecimiento inicial de las especies evaluadas. Sin embargo, la densidad de 3.5 m x 3.5 m mostró una tendencia más favorable para *S. amazonicum*, mientras que *S. parahyba* presentó una ligera reducción en supervivencia bajo ese mismo espaciamiento, lo que podría ser indicativo de diferencias en su respuesta ecológica al aislamiento inicial de las plantas. Este aspecto es relevante para la toma de decisiones en programas de reforestación o producción forestal, donde se priorice tanto la supervivencia como el crecimiento potencial de las especies a largo plazo (**Tabla 10 y Figura 8**).

Tabla 10. Porcentaje de supervivencia de dos especies forestales a dos densidades de plantación

Especie	Densidad	Nº plantas inicio	Nº plantas finales	% supervivencia
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	40	38	95
	3.5 m x 3.5 m	40	36	90
<i>S. amazonica</i>	2 m x 2 m	40	39	97.5
	3.5 m x 3.5 m	40	40	100

**Figura 8.** Porcentaje de supervivencia en dos especies en dos densidades

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran altos porcentajes de supervivencia en ambas especies y densidades, lo cual concuerda con lo reportado por Martínez y Castillo (2013), quienes observaron un 63 % de supervivencia global en especies forestales establecidas en parcelas con distanciamientos fijos. Sin embargo, a diferencia de su estudio, donde *Caesalpinia violacea* alcanzó una supervivencia del 69 %, en el presente trabajo *S. amazonicum* logró el 100 % bajo espaciamiento amplio (3.5 m x 3.5 m), y *S. parahyba* el 95 % en espaciamiento estrecho, lo que indica una mayor adaptación inicial al sitio por parte de las especies evaluadas.

Este comportamiento es también comparable con lo observado por Cabrera (2014) y Fernández (2013) en *Guazuma crinita*, donde espaciamientos más amplios facilitaron mejores condiciones de desarrollo radicular y menor competencia inicial, favoreciendo la

supervivencia y el crecimiento. De manera similar, en este estudio, *S. amazonicum* presentó su mejor supervivencia en la densidad más amplia, posiblemente debido a la mayor disponibilidad de agua y nutrientes en el volumen de suelo por planta, lo que coincide con los fundamentos establecidos por Duan et al. (2019) y Selvalakshmi et al. (2022) sobre la mejora en condiciones edáficas en arreglos espaciales menos densos.

Por otro lado, la ligera reducción de la supervivencia en *S. parahyba* bajo menor densidad podría asociarse a su mayor sensibilidad al estrés ambiental durante los primeros meses, como también lo señalaron Olmedo et al. (2022), quienes describieron una alta plasticidad fenológica en esta especie, lo cual puede generar respuestas diferenciadas según las condiciones microambientales. Esto sugiere que, aunque *S. parahyba* se adapta bien a diversas condiciones, podría beneficiarse inicialmente de un entorno con mayor cobertura vegetal, como ocurre en espaciamientos cerrados, donde se modera la radiación solar directa y se reduce la evaporación del suelo, tal como lo propusieron Boyden et al. (2009) para especies sensibles a la competencia lumínica y edáfica en etapas tempranas.

Desde una perspectiva silvicultural, estos resultados refuerzan lo planteado por Trujillo (2011), quien menciona que la elección del espaciamiento debe considerar tanto la ecología de la especie como las condiciones del sitio para maximizar el establecimiento exitoso. Así, mientras que *S. amazonicum* muestra un excelente desempeño inicial incluso en condiciones de baja competencia, *S. parahyba* podría requerir mayor protección en las fases tempranas, lo que justificaría un espaciamiento más denso en los primeros años para luego aplicar prácticas como el raleo según objetivos productivos.

En suma, aunque ambos arreglos espaciales fueron adecuados para la supervivencia inicial, la elección del distanciamiento óptimo deberá considerar no solo las tasas de supervivencia, sino también el comportamiento ecológico y las exigencias fisiológicas de cada especie en relación con el sitio de plantación.

4.4. Propiedades químicas del suelo

La evaluación temporal de las propiedades químicas del suelo en un experimento de crecimiento de especies forestales plantadas a dos densidades reveló variaciones progresivas en los indicadores de fertilidad edáfica, influenciadas por el desarrollo radical y la actividad biológica del sistema.

El pH del suelo presentó ligeras oscilaciones a lo largo del tiempo. En la evaluación inicial, se registró un valor de 6.02, característico de un suelo ligeramente ácido. A los seis meses, se observó un leve incremento a 6.16, posiblemente relacionado con la mayor actividad de las raíces y la acumulación de bases intercambiables por la mineralización de residuos vegetales. Sin embargo, al noveno mes se produjo un descenso a 5.87, lo cual podría explicarse por un aumento en la liberación de ácidos orgánicos debido a la intensificación de la descomposición de la materia orgánica o por el incremento de la exudación radical en estadios avanzados de crecimiento.

El contenido de materia orgánica (MO) mostró una tendencia creciente, iniciando con un valor de 1.658% y alcanzando 1.829% al noveno mes. Este patrón sugiere una acumulación continua de restos vegetales (hojarasca, raíces finas en descomposición), especialmente en la densidad mayor, donde la cobertura del suelo es más intensa, lo que reduce la erosión superficial y favorece la retención de material orgánico.

En concordancia con este incremento, el nitrógeno total también mostró una evolución positiva, pasando de 0.083% a 0.091%. Este comportamiento indica un enriquecimiento gradual del suelo en nitrógeno, atribuible al aporte constante de residuos vegetales ricos en compuestos nitrogenados, así como a la posible actividad de microorganismos edáficos estimulados por el aumento de la MO.

El fósforo disponible (P), por el contrario, disminuyó notablemente durante los primeros seis meses (de 13.470 a 6.421 ppm), lo que podría atribuirse al consumo activo por parte de las plantas jóvenes en crecimiento acelerado, así como a la inmovilización en formas menos disponibles debido a la dinámica del pH. Al noveno mes, se observó una ligera recuperación (6.682 ppm), posiblemente como resultado de procesos de mineralización o liberación desde la MO acumulada.

El comportamiento del potasio (K_2O) fue más variable. A lo largo de los seis primeros meses, se registró una reducción progresiva de 143.937 ppm a 106.453 ppm, lo que refleja su alta movilidad en el perfil del suelo y su rápida absorción por las plantas en etapas de crecimiento activo. Sin embargo, a los nueve meses, se evidenció un marcado incremento hasta 181.420 ppm. Este aumento puede explicarse por la mineralización de residuos vegetales, especialmente en tratamientos de menor competencia radical, o por el reciclaje de nutrientes facilitado por la cobertura vegetal.

Estos resultados reflejan que el desarrollo de las especies forestales, condicionado por la densidad de plantación, incide significativamente en la dinámica de las propiedades químicas del suelo. La acumulación de materia orgánica y el aumento del nitrógeno sugieren una mejora

progresiva en la fertilidad edáfica. No obstante, la disminución inicial de fósforo y potasio resalta la necesidad de un manejo racional del sitio, especialmente si se proyecta un ciclo de cultivo más prolongado (**Tabla 11**).

Tabla 11. Propiedades químicas del suelo de un sistema agroforestal

Evaluaciones	Ph	MO (%)	Nitrógeno total (%)	P (ppm)	K ₂ O (ppm)
Inicial	6.020	1.658	0.083	13.470	143.937
3 meses	6.000	1.715	0.086	11.816	130.443
6 meses	6.160	1.772	0.089	6.421	106.453
9 meses	5.870	1.829	0.091	6.682	181.420

Los resultados correspondientes a la evaluación de los cationes intercambiables del suelo durante el periodo de establecimiento y crecimiento inicial de las especies forestales muestran una dinámica variable en función del tiempo. Estos cambios reflejan los procesos de absorción de nutrientes, el comportamiento de intercambio catiónico del complejo coloidal y la posible influencia de la densidad de plantación sobre el consumo de bases del suelo.

El contenido de calcio (Ca^{2+}), catión predominante en la mayoría de suelos bien desarrollados, se mantuvo constante entre la evaluación inicial y los tres meses (5.805 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$), evidenciando estabilidad en la disponibilidad de este elemento durante la fase inicial del establecimiento. Sin embargo, a los seis meses, se registró una disminución significativa a 3.767 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$, posiblemente relacionada con una mayor absorción por parte de las raíces durante el periodo de mayor crecimiento vegetativo. Posteriormente, a los nueve meses, el contenido de calcio aumentó a 5.497 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$, lo que sugiere un proceso de reciclaje de nutrientes a través de la descomposición de hojarasca o liberación desde la fracción coloidal del suelo.

El magnesio (Mg^{2+}) presentó una ligera disminución durante los tres primeros meses (de 0.925 a 0.898 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$), seguida de una reducción más marcada a los seis meses (0.625 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$), coincidente con la etapa de crecimiento activo de las plantas, lo que sugiere una elevada demanda de este nutriente secundario. No obstante, a los nueve meses se observó un incremento a 1.003 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$, lo que puede estar asociado a la liberación desde minerales primarios o aportes desde la mineralización de materia orgánica superficial.

En el caso del potasio (K^{+}), se observó un comportamiento oscilante, comenzando con 0.179 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$, aumentando a 0.256 y 0.333 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$ a los tres y seis meses

respectivamente, lo que puede explicarse por una baja tasa de inmovilización y una buena disponibilidad en la solución del suelo. Sin embargo, a los nueve meses el valor descendió abruptamente a 0.128 Cmol(+)/kg, reflejando probablemente un uso intensivo por las especies forestales en etapa de consolidación estructural y lignificación, unido a una posible pérdida por lixiviación dada su alta movilidad.

El contenido de sodio (Na^+) se mantuvo en valores bajos a lo largo de todo el periodo evaluado, oscilando entre 0.060 y 0.091 Cmol(+)/kg, sin evidenciar acumulaciones que pudieran considerarse problemáticas para la estructura o fertilidad del suelo. La estabilidad de este catión sugiere un bajo riesgo de sodificación en el sitio de plantación.

En cuanto a la acidez intercambiable, tanto aluminio (Al^{3+}) como hidrógeno (H^+) presentaron valores de 0.000 Cmol(+)/kg durante todas las evaluaciones. Esto indica un suelo con buen nivel de saturación de bases, sin presencia de acidez intercambiable detectable, lo cual es favorable para el desarrollo radicular y la disponibilidad de nutrientes básicos. La ausencia de estos cationes ácidos sugiere que el suelo mantiene un pH dentro de rangos óptimos y que la capacidad de intercambio catiónico está dominada por cationes básicos.

En resumen, los resultados evidencian una dinámica activa del complejo de cambio catiónico del suelo influenciada por la demanda nutricional de las especies forestales plantadas. Las variaciones observadas en calcio, magnesio y potasio destacan la necesidad de monitoreo continuo para evitar posibles deficiencias en etapas críticas del desarrollo, mientras que la ausencia de acidez intercambiable y la estabilidad del sodio reflejan condiciones edáficas adecuadas para el crecimiento sostenible de las plantaciones (**Tabla 12**).

Tabla 12. Propiedades químicas cambiales Cmol (+)/kg

Evaluaciones	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrogeno
Inicial	5.805	0.925	0.179	0.070	0.000	0.000
3 meses	5.805	0.898	0.256	0.091	0.000	0.000
6 meses	3.767	0.625	0.333	0.060	0.000	0.000
9 meses	5.497	1.003	0.128	0.073	0.000	0.000

Los resultados obtenidos sobre el comportamiento químico del suelo en plantaciones de *Schizolobium amazonicum* y *S. parahyba* a distintas densidades de plantación muestran tendencias coherentes con lo reportado por diversos autores. El incremento progresivo de la materia orgánica y del nitrógeno total concuerda con lo descrito por Duan et al. (2019), quienes

observaron que densidades más altas favorecen la acumulación de restos vegetales, aumentando así los niveles de MO y N por efecto del aporte de hojarasca y raíces finas. Asimismo, el comportamiento del pH, que mostró una ligera acidificación en fases avanzadas del ensayo, se asemeja a lo registrado por Selvalakshmi et al. (2022), quienes encontraron una disminución del pH conforme avanzaba el desarrollo vegetativo, posiblemente asociado a la exudación radical y la actividad microbiológica.

Por otra parte, la disminución inicial del fósforo disponible observada en este estudio es consistente con lo reportado por Tinkham et al. (2021), quienes atribuyen esta tendencia al consumo activo del P durante las fases de crecimiento acelerado de las plantas jóvenes, especialmente en sistemas de alta competencia. Sin embargo, la ligera recuperación del P al noveno mes podría vincularse.

Respecto al potasio, el comportamiento oscilante observado se alinea con lo documentado por Boyden et al. (2009), quienes destacan la alta movilidad de este catión y su susceptibilidad tanto a la absorción vegetal como a la lixiviación. La recuperación significativa del K_2O a los nueve meses puede explicarse por el reciclaje biogeoquímico promovido por la cobertura vegetal.

En cuanto a los cationes intercambiables, las variaciones en Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ en función del tiempo reflejan dinámicas similares a las reportadas por Fernández (2013) y Olmedo et al. (2022), quienes observaron un patrón de disminución inicial por absorción activa, seguido de una recuperación a medida que la biomasa vegetal retorna nutrientes al suelo a través de la hojarasca. La estabilidad del Na^+ y la ausencia de acidez intercambiable (Al^{3+} y H^+) en todo el periodo evaluado confirman las buenas condiciones edáficas del sitio, lo que concuerda con lo planteado por Cabrera (2014) para suelos con adecuada saturación de bases.

En conjunto, estos hallazgos refuerzan que la dinámica de las propiedades químicas del suelo está fuertemente influenciada por la densidad de plantación y el desarrollo de las especies. Si bien ambos arreglos espaciales promovieron una mejora en la fertilidad edáfica, las variaciones observadas indican la necesidad de un manejo nutricional adaptativo, especialmente si se proyecta un aprovechamiento intensivo del sitio.

V. CONCLUSIONES

1. A los nueve meses de evaluación, *Schizolobium parahyba* alcanzó un incremento promedio en altura de 2.28 m y en diámetro de 22.69 mm a una densidad de 3.5 m × 3.5 m, siendo superiores estadísticamente ($p < 0.05$) respecto a la densidad de 2 m × 2 m, donde registró 1.49 m de altura y 12.93 mm de diámetro. *S. amazonicum* también mostró mayor crecimiento en la densidad de 3.5 m × 3.5 m, con incrementos promedio de 1.82 m en altura y 22.53 mm en diámetro, frente a 1.37 m y 14.78 mm en la densidad de 2 m × 2 m.
2. Se encontró una correlación positiva fuerte entre el incremento en altura y diámetro, especialmente en la densidad de 3.5 m × 3.5 m, con coeficientes de correlación de hasta $r = 0.91$ en *S. parahyba* y $r = 0.84$ en *S. amazonicum* a los nueve meses, todos con significancia ($p < 0.0001$). En la densidad de 2 m × 2 m, las correlaciones fueron moderadas a altas, alcanzando $r = 0.63$ y $r = 0.64$ para *S. parahyba* y *S. amazonicum*, respectivamente.
3. *Schizolobium amazonicum* mostró 100% de supervivencia en la densidad de 3.5 m × 3.5 m y 97.5% en 2 m × 2 m. *S. parahyba* alcanzó 95% en 2 m × 2 m y 90% en 3.5 m × 3.5 m, indicando una buena adaptación inicial de ambas especies en ambas densidades.
4. Durante el periodo de evaluación (0 a 9 meses), se observó un aumento de la materia orgánica de 1.658% a 1.829% y del nitrógeno total de 0.083% a 0.091%, evidenciando una mejora gradual de la fertilidad del suelo. El pH se mantuvo entre 5.87 y 6.16, dentro de un rango adecuado para el crecimiento forestal. El fósforo disminuyó de 13.470 ppm a 6.682 ppm, mientras que el potasio bajó inicialmente de 143.937 ppm a 106.453 ppm, con una posterior recuperación hasta 181.420 ppm al mes nueve. No se detectó acidez intercambiable (Al^{3+} ni $H^+ = 0.000$ Cmol(+)/kg) en ningún momento del estudio.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Se recomienda seguir con evaluación considerando los periodos climáticos (seca y lluviosa) para obtener datos más representativos del crecimiento y la dinámica del suelo, optimizando la planificación silvicultural de *S. parahyba* y *S. amazonicum*.
2. Se propone aplicar fuentes orgánicas como compost o estiércol para mejorar el crecimiento de *S. amazonicum* y *S. parahyba*, incrementando la fertilidad y sostenibilidad del suelo en Pueblo Nuevo.
3. Se recomienda implementar prácticas de control integrado de plagas mediante monitoreo periódico y uso de alternativas biológicas, con el fin de reducir daños en *S. amazonicum* y *S. parahyba* y mantener la sanidad de las plantaciones en Pueblo Nuevo.
4. Realizar raleos a futuro con el fin de aumentar la productividad a la densidad de 2 m x 2 m con el fin que permita el engrosamiento de estas especies.
5. Se recomienda evaluar la biomasa aérea y subterránea para comprender la competencia entre individuos y estimar la captura de carbono. Asimismo, analizar la actividad biológica del suelo (biomasa microbiana, respiración y enzimas) que explique los cambios en la fertilidad
6. Replicar el estudio en diferentes condiciones edáficas presentes en el distrito de Pueblo Nuevo para evaluar la adaptabilidad de ambas especies a diversas realidades agroecológicas.

VI. REFERENCIAS

- Acevedo, J. (2005). Criterios de calidad de suelos agrícolas. En línea: USDA [En línea]: (<http://Soils.Usda.gov/sqi/soil/>, documento 25 de Jun 2013).
- Arce,V., W. Fonseca. 2003. Relación albura-duramen y características físicas de la madera *Tectona grandis* en plantaciones de 10 años con diferente densidad de siembra. Guanacoste - Costa Rica. Consultado el 22 de julio del 2007. Disponible en: www.varce.pdf
- Arias-Aguilar, D., Valverde, J. C., & Campos Rodríguez, R. (2020). Effect of planting density and tree species selection on forest bioenergy systems: Tree growth, nutrient storage and wood chemical properties. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 10(6), 1165–1178. <https://doi.org/10.1002/ghg.2008>
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Andina, D., Sanzano, A., Sosa, F., Fernández, J. (2019). El nitrógeno del suelo. Universidad Nacional de Tucumán, 1–11. <https://www.edafologia.org/app/download/7953478176/El+nitrogeno+del+suelo+2019.pdf?t=1563476239>
- Boyden, S., Binkley, D., & Senock, R. (2009). Effects of density and ontogeny on size and growth ranks of three competing tree species in a young forest plantation. *Journal of Ecology*, 97(3), 508–517. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01477.x>
- Cabrera, I. (2014). Comportamiento silvicultural de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) a diferentes densidades a partir del segundo año de plantación. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/611/T.FRS-215.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Canales, A., Meza, G. (2021). Diagnostico en plantaciones forestales establecida en comunidades del municipio el Castillo de departamento de Rio San Juan. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/4389/1/tnk10c212d.pdf>
- Catalán, G. (2016). El pH del suelo en la agricultura. AGROPAL, 1. <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>

- Centeno, M. (1993). *Inventario nacional de plantaciones forestales en Nicaragua* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. RiUNA. <https://repositorio.una.edu.ni/877/1/tnk10c397.pdf>
- Chavez, E., Fonseca, W. (1991). Teca: *Tectona grandis* L. f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico N°.179. 47 p.
- Coronel, N. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. La Granja, 1–2.
- Cronquist, A. (1981). *An Integrated System of Clasification of Flowering Plants*. Columbia üiversity Press (CJ.S.A.)
- Cronquist, A. (1988). *The evolution and classification of flowering plants*. 2ª ed. New York Botanical Garden, Bronx.
- Donoso, C. (1981). *Ecología Forestal: El bosque y su medio ambiente*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Ed. Universitario. 369 p
- Duan, A., Lei, J., Hu, X., Zhang, J., Du, H., Zhang, X., Guo, W., & Sun, J. J. (2019). Effects of planting density on soil bulk density, pH and nutrients of unthinned Chinese fir mature stands in south subtropical region of China. *Forests*, 10(4), 351. <https://doi.org/10.3390/f10040351>
- EMBRAPA FLORESTAS. (2005). Taxonomía e Nomenclatura do Guapuruvú (*Schizolobium parahybae*). Colaborador: Ramalho Carvalho, P. E. Circular Técnica 104. Brasil. [En línea]: Embrapa, ([http:// www.embrapa.br](http://www.embrapa.br), documentos, 17 Set. 2010).
- Farooq, T. H., Wu, W., Tigabu, M., Ma, X., He, Z., Rashid, M. H. U., Gilani, M. M., & Wu, P. (2019). Growth, Biomass Production and Root Development of Chinese fir in Relation to Initial Planting Density. *Forests*, 10(3), 236. <https://doi.org/10.3390/f10030236>
- FAO. (2000). Medición de la altura y el diámetro de los árboles. Recuperado de. <http://www.fao.org/3/ae578s/AE578S06.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. Mean annual volume increment of selected industrial forest plantation species. Roma, It. 6 y 12, 15-16p.

- Fernandez, L. (2013). Comportamiento silvicultural de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) a diferentes densidades en campo definitivo en el distrito de Aucayacu. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/582/T.FRS-184.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ferrere, P., López, G. A., Boca, R. T., Galetti, M. A., Esparrach, C. A., & Pathauer, P. S. (2005). Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado. *Invest Agrar: Sist Recur For*, *14*(2), 174-184.
- García, O. (1970). Índices de sitio para Pino insigne en Chile. Instituto Forestal. Serie de Publicación No 2, Santiago. Chile.
- García, F. (2002). Agricultura Sustentable y Materia Orgánica del Suelo: Siembra Directa, Rotaciones y Fertilidad. IMPOFOS, Buenos Aire – Argentina. Consultado 6 feb. 2010. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/9E4440F53262118E03256DB8006C21FD](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/9E4440F53262118E03256DB8006C21FD)
- García, F., Fabrizzi, K. (2001). Efectos de la Siembra Directa. Dinámica del Nitrógeno en Ecosistemas agrícolas. Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR. Balcarce, Argentina, Págs. 299-317
- Gabira, M. M., Girona, M. M., & DesRochers, A. (2023). The impact of planting density on forest monospecific plantations: An overview. *Forest Ecology and Management*, 534, 120882. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120882>
- Gonzales, J. (2011). Evaluación del efecto de guano de islas en el crecimiento de guaba (*Inga edulis* C. Martius) y pino chuncho (*Schizolobium parahyba* (Velloso) Blake var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) asociados con especies del género heliconia. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/432>
- Hairston, A., Grigal, D. (1991). Influencias topográficas en los suelos y los árboles dentro de las unidades de mapeo simples en una playa de paisaje. *Ecología y manejo forestal*. Holanda 43 (1-2): 35- 45 p.

- Han, C., Liu, Y., Zhang, C., Li, Y., Zhou, T., Khan, S., Chen, N., & Zhao, C. (2021). Effects of three plantation coniferous species on plant–soil feedbacks and soil physical and chemical properties in semi-arid mountain ecosystems. *Forest Ecosystems*, 8(3). <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00281-4>
- Havlin, J., Tisdale, S., Beaton, J. (2014). Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Pearson. New York. USA. 2014. 8a. 978-0-1302-7824-1.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a edición). McGraw-Hill España.
- Holdridge, L. (1987). Ecología basada en zonas de vida (2nd ed.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Humano, W. (2020). *Dinámica del crecimiento diametral de especies forestales nativas en la Selva Pedemontana de Yungas, Argentina*. Editorial UNJU. <https://doi.org/xxxx>
- Imaña, E., Encinas, B. (2008). Epidometría Forestal. Manual Forestal. Brasilia: Universidad de Brasilia. Departamento de Ingeniería Forestal. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales.
- Infante, J. (2011). *Influencia de diferentes densidades de siembra de Guazuma crinita C. Martius “bolaina blanca” en la fertilidad de suelo del predio Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/f81deebd-97cf-4f44-9027-a54434d5d9c8>
- Justiniano, M., Fredericksen, T., y Nash, D. (ED.). (2001). Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas – Serebó o Sombrerillo *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, Caesalpiniaceae. Santa Cruz, Bolivia: Editora El País.
- Long, J. N., & Vacchiano, G. (2014). A comprehensive framework of forest stand property–density relationships: perspectives for plant population ecology and forest management. *Annals of Forest Science*, 71(3), 325–335. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0351-3>

- Lyu, Q., Lu, Y., Li, Y., Cao, X., Chen, C., Song, J., & Han, H. (2021). Early effects of crop tree management on undergrowth plant diversity and soil nutrient availability. *PeerJ*, 9, e11596. <https://doi.org/10.7717/peerj.11596>
- Martínez López, F. I., & Castillo Muñoz, M. A. (2013). *Evaluación del establecimiento de tres especies forestales en la unidad experimental finca El Plantel, Nindirí, Masaya* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/1187/>
- Minaya, F. (2013). Comportamiento silvicultural de cinco especies forestales en linderos del CIPTALD, Aucayacu. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/583/T.FRS-185.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ordóñez, R., González P., Giráldez, J. (2002). Evolución de la Materia Orgánica en Suelos a Largo Plazo. Departamento Suelos y Riegos. CIFA-Alameda del Obispo. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Departamento de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba. Consultado 6 feb. 2010. Disponible en <http://www.aeac-sv.org/pdfs/materiaorganica.pdf>
- Olmedo, G. M., Fontana, C., & Oliveira, J. M. (2022). Primary and secondary growth phenology of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake at different time scales. *Dendrochronologia*, 72, 125921. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125921>
- Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal, 1(4), 4–7. http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf
- Ofosua, E., Dsouza, K. B., Amaogud, D. C., Pigeon, J., Boudreault, R., Moreno-Cruz, J., Maghoul, P., & Leonenko, Y. (2025). Climate benefits of afforestation and reforestation with varying species mixtures and densities in the north-western boreal lands. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2506.03300>

- Parrota, J. (1992). The role of plantations forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agri. Ecosyst. Environ.* 41: 115-133.
- Pérez, M., J. Carew y N. Battey. 2005. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la Fresa cv. Elsanta. *Bioagro*. Vol. 17 (1): 11-15.
- Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., Hernández, T., Vázquez, M., Rodríguez, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+n). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 171. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80>
- Pretzsch, H. (2020). Density and growth of forest stands revisited: Effect of the temporal scale of observation, site quality, and thinning. *Forest Ecology and Management*, 460, 117879. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117879>
- Porta, J., López, M., Poch R. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 2003. 10-8-4847-6661-6.
- Quiroga, A., Ormeño, O., Peinemann, N. (2000). Siembra Directa. Efectos de la Siembra Directa sobre Propiedades Físicas de los Suelos. MORGAN-MYCOGEN. Argentina. Págs. 57-62
- Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores, C., Daza, A. (2003). Árboles útiles en la Amazonia Peruana "un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies". Perú. [En línea]: Icrf, (<http://www.icraf-peru.org/docs/14arbolesamazonPeru.pdf>), documentos, 2 Set. 2010).
- Rojas, F. (2001). Plantaciones Forestales. 2 ed. EUNED. San José, CR.
- Ramanpong, J., Yin, J., Zhang, C.-J., Chen, H.-T., Tsai, M.-J., Spengler, J. D., & Yu, C.-P. (2024). The effects of viewing forests with different planting densities on physiological and psychological responses: A between-subject experiment. *Trees, Forests and People*, 16, 100551. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100551>
- Sanzano, A. (1999). El fósforo del suelo. *Química Del Suelo*, 1–4.

- Selvalakshmi, S., Vasu, D., & Yang, X. (2022). Planting density affects soil quality in the deep soils of pine plantations. *Applied Soil Ecology*, 178, 104572. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104572>
- Solorzano, H. (2013). Comportamiento de la Caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en una plantación a campo abierto y bajo sombra en Tingo María. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/593/T.FRS-194.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, R. (2001). Evaluación de plantaciones forestales. Mediciones forestales. Ed. limusa S.A México, Mex. 34-38 y 227p.
- Tinkham, W. T., Keyser, T. L., & Battaglia, M. A. (2021). Regeneration density influences long-term stand structure and growth following high-severity wildfire in lodgepole pine forests. *Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service*. <https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-108>
- Torrez, O. (2017). Evaluación de Plantaciones Forestales Mixtas en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste (Tesis de Bachiller). Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Trujillo, E. (2011). Plantación forestal: Planeación para el éxito. Costa Rica. 9p. [En línea]: MM, (<http://www.revista-MM.com>, documentos, 25 Jul. 2011).
- Ugalde, L., Vasquez, W. (1995). Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final. Convenio de Cooperación IDA/FAO-CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Vega, C., Maldonado, H. (2010). Dendometria. Texoco, Mexico: Universidad Autónoma Chapingo
- Wadsworth, F. (1997). Forest production for Tropical America. Forest plantations: Policies and Progress. USDA, Forest service. USA. 155-156p.
- Wei, J., Chen, H., Yu, X., Guo, Z., Zhang, X., Tian, L., & Nong, S. (2025). Stand structure and plant diversity characteristics of typical artificial forests after natural recovery in the hilly

region of central Hainan. *Frontiers in Plant Science*, 16.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1629250>

- Xiao-jing, L., Xue-ling, Z., Song, Y., Ye, T., & Cong-bo, Z. (2011). Effects of Canopy Openness and Planting Density on the Growth and Yield of *Ixeris Denticulata* (houutt.)steb in Baotianman Natural Forest of *Quercus Acutidentata*. In *He'nan nongye daxue xuebao*.
- Wild, A. (1992). Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Russell. 11 ed. Mundi-prensa. Madrid, España.
- Yague, J. (2002) Manual práctico sobre utilización de suelo y fertilizantes. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España.
- Yu-Jun, L. (2012). Effects of Planting Density on Growth Strategies and Photosynthetic Characteristics of *Mentha haplocalyx* Briq. In *Plant Physiology Journal*.
- Zhu, J., & Song, L. (2020). A review of ecological mechanisms for management practices of protective forests. *Journal of Forestry Research*, 32(2), 435–448.
<https://doi.org/10.1007/s11676-020-01233-4>

ANEXO

Tabla 13. Datos evaluados de incremento de diámetro y altura

Especie	Densidad	Nº de fila	Nº de planta	Sobrevivencia	Incremento en diámetro (mm)			Incremento en altura (m)		
					3 meses	6 meses	9 meses	3 meses	6 meses	9 meses
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P1	VIVO	4.43	8.86	12.79	0.88	0.97	2.37
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P2	VIVO	4.64	9.37	13.44	1.15	1.21	2.35
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P3	VIVO	3.1	6.2	8.8	0.72	0.72	1.52
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P4	MUERTO						
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P5	VIVO	7.72	15.44	22.66	0.165	1.85	3.65
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P6	VIVO	3.66	7.32	10.48	0.51	0.64	1.24
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P7	VIVO	2.42	5.03	7.02	0.67	0.87	1.77
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P8	VIVO	2.19	5.09	7.99	0.53	1.93	3.33
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P9	VIVO	3.67	7.43	10.67	1	1.37	2.77
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F1	P10	VIVO	3.57	7.14	10.16	0.31	1.26	2.52
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P1	VIVO	2.29	4.58	6.37	0.56	0.83	1.11
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P2	VIVO	5.31	10.62	15.1	0.45	1.58	3.16
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P3	VIVO	6.59	13.18	19.27	0.52	2.13	3.93
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P4	VIVO	6.79	13.58	19.78	0.42	1.45	3.41
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P5	VIVO	5.68	11.45	16.63	0.19	0.94	1.94
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P6	VIVO	2.24	4.49	6.29	0.275	0.41	0.82
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P7	VIVO	3.55	7.01	10	0.22	1.08	2.16
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P8	VIVO	6.72	13.53	20.27	0.48	1.53	3.03

<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P9	VIVO	6.92	14.69	21.52	0.005	1.92	3.37
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F2	P10	VIVO	3.72	7.58	10.52	0.165	1.34	2.68
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P1	VIVO	3	6	8.91	0.63	1.04	1.74
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P2	VIVO	4.29	8.75	12.49	0.255	1.235	2.465
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P3	VIVO	3.56	7.12	10.11	0.7	0.88	1.76
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P4	VIVO	4.06	8.12	11.66	0.54	1	2
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P5	MUERTO						
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P6	VIVO	2.19	4.39	5.99	0.71	1.24	2.34
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P7	VIVO	3.66	7.32	10.32	0.53	0.85	2.05
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P8	VIVO	3.23	6.53	8.53	0.36	0.4	0.8
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P9	VIVO	3.43	7.03	10.73	0.55	0.8	1.55
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F3	P10	VIVO	6.29	12.58	15.58	0.27	0.47	0.94
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P1	VIVO	3.73	7.46	10.69	0.43	0.91	1.73
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P2	VIVO	4.05	8.11	12.45	0.66	1.31	2.62
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P3	VIVO	4.95	10.31	14.55	0.26	0.52	1.04
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P4	VIVO	5.77	11.54	16.74	0.52	1.04	2.08
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P5	VIVO	4.77	9.71	13.97	0.755	1.655	3.255
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P6	VIVO	5.715	11.43	15.7	0.645	1.29	2.58
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P7	VIVO	6.6	13.2	19.3	0.73	1.46	2.92
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P8	VIVO	5.84	11.68	16.67	0.66	1.32	2.64
<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P9	VIVO	3.09	5.99	8.29	0.405	0.81	1.62

<i>S. parahyba</i>	2 m x 2 m	F4	P10	VIVO	6.71	13.42	19.04	1.31	1.71	3.42
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P1	VIVO	4.48	8.96	14.36	0.21	0.42	1.13
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P2	VIVO	2.72	5.44	11.31	0.03	0.25	0.97
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P3	VIVO	6.91	13.82	17.23	0.39	0.78	1.67
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P4	VIVO	7.48	14.24	19.24	0.42	0.84	1.76
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P5	VIVO	6.45	19.98	24.85	0.67	1.34	2.51
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P6	VIVO	5.63	11.26	16.26	0.36	0.59	1.32
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P7	VIVO	4.36	10.36	15.36	0.25	0.5	1.25
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P8	VIVO	5.33	10.93	15.93	0.57	0.95	1.83
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P9	VIVO	4.48	7.69	13.69	0.33	0.65	1.47
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F1	P10	VIVO	4.23	7.99	12.53	0.3	0.6	1.4
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P1	VIVO	1.04	2.35	7.34	0.245	0.49	1.03
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P2	VIVO	1.73	3.21	8.21	0.105	0.21	0.76
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P3	VIVO	5.08	10.16	15.16	0.2	0.4	1.07
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P4	VIVO	5.41	11.17	16.17	0.3075	0.615	1.415
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P5	VIVO	5.25	10.09	15.25	0.46	0.92	1.82
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P6	VIVO	9.33	18.66	22.31	0.385	0.77	1.21
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P7	VIVO	4.01	7.91	12.91	0.335	0.67	1.49
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P8	VIVO	5.35	10.75	15.75	0.325	0.65	1.3
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P9	VIVO	3.77	8.09	11.47	0.395	0.79	1.32
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F2	P10	VIVO	0.62	1.24	6.43	0.03	0.06	0.59

<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P1	VIVO	3.82	7.64	13.57	0.15	0.3	0.95
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P2	VIVO	5.69	11.38	16.38	0.32	0.65	1.53
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P3	VIVO	6.06	12.12	17.12	0.17	0.34	0.98
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P4	MUERTO						
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P5	VIVO	4.61	9.22	15.14	0.26	0.53	1.3
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P6	VIVO	7.14	14.39	19.64	0.51	1.03	2.05
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P7	VIVO	5.65	11.4	16.25	0.44	0.88	1.84
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P8	VIVO	5.45	10.95	15.95	0.34	0.68	1.52
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P9	VIVO	3.97	8.03	12.27	0.135	0.315	1.035
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F3	P10	VIVO	4.07	8.29	13.67	0.3	0.6	1.4
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P1	VIVO	3.79	7.59	12.99	0.15	0.31	0.91
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P2	VIVO	3.08	6.16	12.01	0.15	0.31	1.61
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P3	VIVO	5.98	11.96	17.93	0.17	0.35	1.18
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P4	VIVO	2.33	4.66	10.05	0.14	0.29	1.35
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P5	VIVO	5.33	10.78	14.13	0.21	0.43	1.06
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P6	VIVO	3.69	7.39	12.39	0.26	0.52	1.28
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P7	VIVO	3.93	7.69	12.33	0.2	0.4	1.36
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P8	VIVO	6.82	13.64	17.68	0.25	0.51	1.27
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P9	VIVO	6.72	13.27	18.62	0.37	0.75	1.63
<i>S. amazonicum</i>	2 m x 2 m	F4	P10	VIVO	5.68	11.36	16.36	0.36	0.73	1.88
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P1	VIVO	3.76	7.47	11.18	0.19	0.38	0.87

<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P2	MUERTO						
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P3	VIVO	3.03	6.73	10.43	0.11	0.17	0.53
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P4	VIVO	6.71	14.43	20.31	0.51	1.02	1.83
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P5	VIVO	7.52	15.78	21.42	0.41	0.87	1.63
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P6	VIVO	7.47	16.45	25.43	0.4	0.77	1.44
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P7	VIVO	9.47	19.45	29.43	0.92	1.3	1.98
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P8	VIVO	8.65	18.57	28.49	0.52	1.09	1.96
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P9	VIVO	3.03	6.4	9.77	0.23	0.46	0.99
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P10	VIVO	13.68	26.62	32.68	0.63	1.26	2.19
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P1	VIVO	3.3	6.6	9.9	0.02	0.11	0.5
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P2	MUERTO						
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P3	VIVO	3.06	6.06	9.06	0.085	0.17	0.555
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P4	VIVO	6.84	14.89	22.94	0.36	0.72	1.38
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P5	VIVO	10.31	21.03	26.31	0.66	1.32	2.28
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P6	VIVO	11.06	23.48	34.86	0.5	1	1.8
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P7	VIVO	4.18	8.36	14.66	0.07	0.14	0.51
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P8	muerto						
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P9	VIVO	4.82	10.25	15.68	0.23	0.46	0.99
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P10	VIVO	5.48	10.51	15.54	0.26	0.53	1.1
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P1	VIVO	3.77	7.47	12.27	0.12	0.25	0.68
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P2	VIVO	11.94	23.88	25.88	0.83	1.79	3.05
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P3	VIVO	7.07	14.14	21.21	0.24	0.48	1.02

<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P4	VIVO	11.09	22.99	34.89	0.7	1.4	2.4
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P5	VIVO	15.07	28.65	42.23	0.95	1.9	3.15
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P6	VIVO	14.19	27.19	40.19	0.97	1.95	3.23
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P7	VIVO	13.23	26.53	35.53	0.8	1.6	2.7
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P8	VIVO	4.19	8.38	14.57	0.22	0.45	0.98
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P9	VIVO	7.4	14.85	22.3	0.34	0.68	1.32
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P10	VIVO	12.76	25.52	38.28	0.64	1.17	2
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P1	VIVO	6.96	13.92	21.96	0.25	0.51	1.07
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P2	VIVO	9.34	19.97	26.94	0.43	0.87	1.61
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P3	VIVO	7.99	15.98	23.97	0.22	0.45	0.98
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P4	VIVO	8.65	16.09	23.53	0.27	0.54	1.11
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P5	VIVO	5.25	14.61	23.97	0.39	0.78	1.47
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P6	VIVO	6.96	12.77	18.58	0.19	0.38	0.87
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P7	VIVO	5.66	11.32	16.98	0.19	0.39	0.89
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P8	VIVO	7.53	15.06	22.59	0.34	0.69	1.34
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P9	MUERTO						
<i>S. parahyba</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P10	VIVO	4.92	8.83	12.74	0.29	0.58	1.17
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P1	VIVO	4.12	8.41	12.7	0.325	0.65	1.375
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P2	VIVO	7.35	14.7	22.05	0.315	0.63	1.345
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P3	VIVO	7.85	15.77	23.69	0.53	1.06	1.99
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P4	VIVO	5.26	10.59	15.92	0.34	0.68	1.42

<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P5	VIVO	8.02	16.11	24.2	0.08	0.16	0.64
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P6	VIVO	7.66	15.41	23.16	0.55	1.1	2.05
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P7	VIVO	7.53	15.11	22.69	0.415	0.83	1.645
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P8	VIVO	9.75	19.5	29.25	0.615	1.23	2.245
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P9	VIVO	12.66	25.32	37.98	0.85	1.7	2.95
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F1	P10	VIVO	7.23	14.19	21.15	0.43	0.86	1.69
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P1	VIVO	4.835	9.67	14.67	0.24	0.48	1.12
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P2	VIVO	11.9	23.8	35.7	0.82	1.64	2.86
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P3	VIVO	4.69	9.43	14.17	0.34	0.68	1.42
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P4	VIVO	3.91	8.01	12.11	0.125	0.25	0.775
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P5	VIVO	9.29	18.69	28.09	0.505	1.01	1.915
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P6	VIVO	6.83	13.66	20.49	0.39	0.78	1.57
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P7	VIVO	6.85	13.7	20.55	0.36	0.72	1.48
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P8	VIVO	9.78	19.56	29.34	0.62	1.24	2.26
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P9	VIVO	11.12	22.24	34.24	1.175	2.35	3.925
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F2	P10	VIVO	4.4	8.8	13.2	0.295	0.59	1.285
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P1	VIVO	1.9	3.87	5.84	0.135	0.27	0.805
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P2	VIVO	6.75	13.59	20.43	0.455	0.91	1.765
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P3	VIVO	7.97	16.03	24.09	0.485	0.97	1.855
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P4	VIVO	5.18	10.51	15.84	0.39	0.78	1.57
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P5	VIVO	8.56	17.21	25.86	0.595	1.19	2.185
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P6	VIVO	5.99	11.98	17.97	0.445	0.89	1.735

<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P7	VIVO	11.75	23.5	35.25	0.795	1.59	2.785
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P8	VIVO	8.22	16.59	24.96	0.365	0.73	1.495
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P9	VIVO	6.38	12.76	19.14	0.5	1	1.9
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F3	P10	VIVO	11.18	22.36	33.54	0.76	1.52	2.68
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P1	VIVO	6.17	12.23	18.29	0.485	0.97	1.855
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P2	VIVO	5.81	11.62	17.43	0.285	0.57	1.255
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P3	VIVO	6.14	12.45	18.76	0.375	0.75	1.525
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P4	VIVO	7	14	21	0.425	0.85	1.675
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P5	VIVO	4.46	8.95	13.44	0.29	0.58	1.27
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P6	VIVO	7.28	14.5	21.72	0.455	0.91	1.765
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P7	VIVO	9.11	18.22	27.33	0.425	0.85	1.675
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P8	VIVO	10.73	21.51	32.29	0.635	1.27	2.305
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P9	VIVO	11.35	22.7	34.05	0.845	1.69	2.935
<i>S. amazonicum</i>	3.5 m x 3.5 m	F4	P10	VIVO	6.16	12.32	18.48	0.435	0.87	1.705



Figura 9. Limpieza del área para el establecimiento



Figura 10. Delimitación del área para diversos distanciamientos



Figura 11. Apertura de hoyos para el plantado de las dos especies forestales



Figura 12. Instalación de los plantones a dos densidades



Figura 13. Medición del diámetro de plántones de dos especies forestales



Figura 14. Medición de la altura de plantas establecidas



Figura 15. Verificación de la tesis por parte de los jurados



Figura 16. Plantas a los nueve meses de establecido