

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS**

**FORESTALES**



**“RESPUESTA SILVICULTURAL DE OCHO ESPECIES FORESTALES  
NATIVAS Y EXÓTICAS DE VALOR COMERCIAL INSTALADAS EN  
PLANTACIONES FORESTALES EN LA AMAZONÍA PERUANA”**

**Presentada por:**

**GINO FERNANDO MONDRAGÓN AGUIRRE**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN BOSQUES Y GESTIÓN DE  
RECURSOS FORESTALES**











**Lima – Perú**

**2023**

## Document Information

Analyzed document	Tesis - Gino Mondragón Aguirre MBGRF 030123.pdf (D158352247)
Submitted	2023-02-10 15:34:00
Submitted by	
Submitter email	eloycuellar@lamolina.edu.pe
Similarity	3%
Analysis address	eloycuellar.unalm@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>PROYECTO UNU 2022-V4.pdf</b> Document PROYECTO UNU 2022-V4.pdf (D136139588)		4
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-169.pdf">https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-169.pdf</a> Fetched: 2023-02-10 15:35:00		2
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional Agraria La Molina / MONOGRAFIA TSP-APA.docx</b> Document MONOGRAFIA TSP-APA.docx (D141635179) Submitted by: mmecd@lamolina.edu.pe Receiver: mmecd.unalm@analysis.arkund.com		1
<b>SA</b>	<b>GUANOTASIG_MOPOSITA.pdf</b> Document GUANOTASIG_MOPOSITA.pdf (D29346935)		1
<b>SA</b>	<b>UNU_Forestal_2021_P_Erick_Villacorta_V1.pdf</b> Document UNU_Forestal_2021_P_Erick_Villacorta_V1.pdf (D111653205)		3
<b>SA</b>	<b>PROYECTO TESIS_MARTINO SANTUR LUCERO_OBLITAS TROYES JHON (1).pdf</b> Document PROYECTO TESIS_MARTINO SANTUR LUCERO_OBLITAS TROYES JHON (1).pdf (D109729095)		5
<b>W</b>	URL: <a href="https://mgtagle.files.wordpress.com/2013/09/006-silvicultura.pdf">https://mgtagle.files.wordpress.com/2013/09/006-silvicultura.pdf</a> Fetched: 2023-02-10 15:35:00		1
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS_Silvana Di Liberto Porles (1).docx</b> Document TESIS_Silvana Di Liberto Porles (1).docx (D141758872) Submitted by: vbarrena@lamolina.edu.pe Receiver: vbarrena.unalm@analysis.arkund.com		12
<b>SA</b>	<b>UNU_INGENIERIA FORESTAL_2021_TESIS_DELY_RIOJA.docx</b> Document UNU_INGENIERIA FORESTAL_2021_TESIS_DELY_RIOJA.docx (D123046833)		1
<b>SA</b>	<b>UNC_Forestal 2022_TesisMarcel_ ver.1.docx</b> Document UNC_Forestal 2022_TesisMarcel_ ver.1.docx (D139758305)		2

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS**

**FORESTALES**

**“RESPUESTA SILVICULTURAL DE OCHO ESPECIES FORESTALES  
NATIVAS Y EXÓTICAS DE VALOR COMERCIAL INSTALADAS EN  
PLANTACIONES FORESTALES EN LA AMAZONÍA PERUANA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO**

**MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**GINO FERNANDO MONDRAGÓN AGUIRRE**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado**

**Dr. Jorge Chávez Salas  
PRESIDENTE**

**Dr. José Cuellar Bautista  
ASESOR**

**Dr. Gilberto Domínguez Torrejón  
MIEMBRO**

**Mg. Sc. Víctor Barrena Arroyo  
MIEMBRO**

## *DEDICATORIA*

*A mis padres, José Luis y Leonarda. Ustedes me hicieron, me hacen y me harán.*

*A mi querida hermana Mila. Su fuerza e inquebrantable apoyo continúan siendo fundamentales para mí.*

*A la Señora Margarita y Liz, que acompañan nuestros días con su gran gesto de familia.*

## AGRADECIMIENTOS

*Deseo expresar mis agradecimientos:*

*Al profesor Eloy Cuellar Bautista; por la oportunidad de participar en el Proyecto Innovación en el uso de maderas Fase 3. Su apoyo, asesoramiento y consejo han sido fundamentales en el desarrollo de esta investigación.*

*Al Proyecto “Innovación en el uso de maderas Fase 3: Construcción de tablas con indicadores de crecimiento, productividad y propiedades tecnológicas mediante pruebas no destructivas en relación a la edad de plantaciones forestales en ocho especies de valor económico”; a cargo del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (FCF-UNALM).*

*Al Proyecto Concytec – Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682 – PE, a través de su unidad ejecutora Fondecyt [contrato número 81-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV], que ha financiado esta investigación.*

*Al profesor Víctor Barrena, por sus consejos y asesoramiento.*

*Al profesor Gilberto Domínguez; por su guía y asesoramiento.*

*A la Ing. Yanett Chumbimune y la Ing. Patricia Cárdenas; por su apoyo durante el desarrollo del trabajo de campo y la elaboración de la tesis.*

*Al profesor David Saravia Navarro, por su apoyo en el análisis de datos.*

*A los profesores Fernando Bulnes y Rose.*

*Al profesor José Luis Marcelo, por sus enseñanzas y consejo.*

*A la Ing. Luisa Morales, el Ing. Antonio Santos y la Arq. Rocío Yancché*

*A Evelyn, Maricel, Giancarlo y Julius, por su apoyo durante mis estudios de maestría.*

*A mis amigos Karen, Pedro y Elmer.*

*A la señorita Rosario Gago, por sus consejos y palabras de aliento.*

*A la señora Margarita y Liz.*

*A mi hermana Mila.*

*A mis padres José Luis y Leonarda. Por todo y más.*

## RESUMEN

El objetivo principal del estudio fue evaluar la respuesta silvicultural de *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrelinga cateniformis*, *Dipteryx ferrea*, *Guazuma crinita*, *Pinus tecunumanii*, *Retrophyllum rospigliosii*, *Schizolobium amazonicum* y *Simarouba amara* en plantaciones forestales instaladas la Amazonía peruana. La respuesta silvicultural se estudió mediante la evaluación de cuatro indicadores de crecimiento (diámetro a la altura de pecho, altura comercial, área basal y volumen comercial), cuatro indicadores de productividad (incremento medio anual en diámetro a la altura de pecho, en altura comercial, en área basal por hectárea y en volumen comercial por hectárea) y cuatro indicadores de espesura de masa forestal (densidad, área basal por hectárea, Fracción de Cabida Cubierta e Índice de Hart-Becking). Para ello, a partir de la data de campo del *Proyecto Innovación en el uso de Maderas Fase 3* se organizó una base de datos para calcular los indicadores en estudio. A continuación, se realizó un análisis estadístico descriptivo en el que se comparó los resultados de los indicadores; primero entre plantaciones de una misma especie y luego con reportes de otras investigaciones. Paralelamente, estos resultados se relacionaron con la edad de plantación y el pH y textura del suelo. Se determinó que las especies estudiadas presentaron comportamientos silviculturales diferentes; que variaron de acuerdo a la edad de plantación, el tipo de plantación, el pH y la textura del suelo. *Cedrelinga cateniformis*, *Dipteryx ferrea* y *Schizolobium amazonicum* pueden desarrollarse una gran variedad de condiciones de pH y textura del suelo. *Guazuma crinita* y *Pinus tecunumanii* presentaron mayor crecimiento y productividad en suelos de menor acidez. *Retrophyllum rospigliosii* presentó mayor crecimiento y productividad en suelos de textura media. *Simarouba amara* presentó mayor crecimiento y productividad en suelos de textura gruesa. Finalmente, se generó una tabla de indicadores que muestra los resultados de las plantaciones estudiadas en comparación con los resultados publicados en otros estudios.

**Palabras clave:** Plantaciones forestales, crecimiento, productividad, espesura de masa forestal.

## SUMMARY

The main objective of the study was to evaluate the silvicultural response of *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrelinga cateniformis*, *Dipteryx ferrea*, *Guazuma crinita*, *Pinus tecunumanii*, *Retrophyllum rospigliosii*, *Schizolobium amazonicum* and *Simarouba amara* in forest plantations installed in the Peruvian Amazon. Silvicultural response was studied by evaluating four growth indicators (diameter at breast height, commercial height, basal area and commercial volume), four productivity indicators (mean annual increase in diameter at breast height, commercial height, in basal area per hectare and in commercial volume per hectare) and four indicators of forest mass thickness (density, basal area per hectare, Fraction of Canopy Cover and Hart-Becking Index). For this, based on the field data of *Proyecto Innovación en el uso de Maderas Fase 3*, a database was organized to calculate the indicators under study. Next, a descriptive statistical analysis was carried out in which the results of the indicators were compared; first between plantations of the same species and then with reports from other investigations. In parallel, these results were related to the age of plantation and the pH and texture of the soil. It was determined that the studied species presented different silvicultural behaviors; that varied according to the age of plantation, the type of plantation, the pH and the texture of the soil. *Cedrelinga cateniformis*, *Dipteryx ferrea*, and *Schizolobium amazonicum* can thrive in a wide variety of soil pH and texture conditions. *Guazuma crinita* and *Pinus tecunumanii* showed higher growth and productivity in soils with lower acidity. *Retrophyllum rospigliosii* showed higher growth and productivity in medium textured soils. *Simarouba amara* showed higher growth and productivity in coarse-textured soils. Finally, a table of indicators was generated that shows the results of the plantations studied in comparison with the results published in other studies.

**Key words:** forest plantations, growth, productivity, forest mass thicknes.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 PLANTACIONES FORESTALES .....	3
2.1.1 Definición de plantaciones forestales .....	3
2.1.2 Beneficios de las plantaciones forestales.....	4
2.1.3 Clasificación de las plantaciones forestales.....	4
2.1.4 Evaluación de plantaciones forestales .....	6
2.1.5 Las plantaciones forestales en el mundo y en el Perú .....	7
2.2 EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO, PRODUCTIVIDAD Y ESPESURA DE MASA FORESTAL EN PLANTACIONES FORESTALES .....	9
2.2.1 Evaluación del crecimiento de árboles en plantaciones forestales .....	9
2.2.2 Evaluación de la productividad de plantaciones forestales .....	11
2.2.3 Evaluación de la espesura de masa forestal.....	14
2.3 SUELO Y CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES .....	19
2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES FORESTALES EN ESTUDIO .....	23
2.4.1 <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker f. ex Schumann .....	23
2.4.2 <i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke.....	25
2.4.3 <i>Dipteryx ferrea</i> Ducke .....	26
2.4.4 <i>Guazuma crinita</i> Martius.....	28
2.4.5 <i>Pinus tecunumanii</i> Eguluz y Perry .....	30
2.4.6 <i>Retrophyllum rospigliosii</i> (Pilger) C.N. Page.....	31
2.4.7 <i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke .....	33
2.4.8 <i>Simarouba amara</i> Aublet .....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	37
3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS DE LAS PLANTACIONES EVALUADAS EN EL PROYECTO INNOVACIÓN EN EL USO DE MADERAS FASE 2 Y 3 .....	42
3.3 EQUIPOS, SOFTWARES, MATERIALES Y DATOS .....	44
3.3.1 Equipos.....	44



3.3.2	<i>Softwares</i> .....	44
3.3.3	Materiales .....	45
3.3.4	Datos .....	45
3.4	METODOLOGÍA .....	45
3.4.1	Organización de la base datos .....	45
3.4.2	Cálculo de los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal .....	45
3.4.3	Clasificación del pH y la textura del suelo .....	49
3.4.4	Análisis estadístico de los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal .....	49
3.4.5	Análisis de resultados .....	50
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
4.1	<i>CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM</i> (BENTHAM) HOOKER F. EX SCHUMANN – “CAPIRONA” .....	51
4.1.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Calycophyllum spruceanum</i> ...	51
4.1.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Calycophyllum spruceanum</i>	56
4.1.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	60
4.1.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	62
4.2	<i>CEDRELINGA CATENIFORMIS</i> (DUCKE) DUCKE - “TORNILLO” .....	64
4.2.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	64
4.2.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	70
4.2.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	74
4.2.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	77
4.3	<i>DIPTERYX FERREA</i> DUCKE – “SHIHUAHUACO” .....	79
4.3.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Dipteryx ferrea</i> .....	79
4.3.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Dipteryx ferrea</i> .....	85
4.3.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Dipteryx ferrea</i> .	88
4.3.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Dipteryx ferrea</i> .....	91
4.4	<i>GUAZUMA CRINITA</i> MARTIUS - “BOLAINA” .....	92
4.4.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Guazuma crinita</i> .....	92

4.4.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Guazuma crinita</i> .....	99
4.4.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Guazuma crinita</i> 103	
4.4.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Guazuma crinita</i> .....	106
4.5	<i>PINUS TECUNUMANII</i> EGUILUZ Y PERRY - “PINO” .....	107
4.5.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Pinus tecunumanii</i> .....	107
4.5.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Pinus tecunumanii</i> .....	114
4.5.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Pinus tecunumanii</i> 118	
4.5.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Pinus tecunumanii</i> .....	120
4.6	<i>RETROPHYLLUM ROSPIGLIOSII</i> (PILGER) C.N. PAGE – “ULCUMANO” .....	122
4.6.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Retrophyllum rospigliosii</i> ....	122
4.6.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .	128
4.6.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	130
4.6.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	133
4.7	<i>SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM</i> HUBER EX DUCKE – “PINO CHUNCHO” .	134
4.7.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Schizolobium amazonicum</i> ...	134
4.7.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Schizolobium amazonicum</i>	140
4.7.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	143
4.7.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	146
4.8	<i>SIMAROUBA AMARA</i> AUBLET – “MARUPÁ” .....	147
4.8.1	Resultados de los indicadores de crecimiento en <i>Simarouba amara</i> .....	147
4.8.2	Resultados de los indicadores de productividad en <i>Simarouba amara</i> .....	153
4.8.3	Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en <i>Simarouba amara</i> 156	
4.8.4	Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en <i>Simarouba amara</i> .....	159
4.9	TABLA DE INDICADORES DE CRECIMIENTO, PRODUCTIVIDAD Y ESPESURA DE MASA FORESTAL .....	160

V. CONCLUSIONES .....	165
VI. RECOMENDACIONES .....	167
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	169
VIII. ANEXOS.....	185

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Clasificación de las plantaciones forestales .....	5
Tabla 2: Clasificación de la espesura de masa arbórea en base al área basal por hectárea .....	17
Tabla 3: Categorías de Fracción de Cábida Cubierta .....	18
Tabla 4: Clasificación de pH en KCl propuesta por Scheffer y Schachtschabel.....	21
Tabla 5: Correspondencia entre el nombre común y la clase textural.....	23
Tabla 6: Crecimiento de plantaciones de <i>Simarouba amara</i> a diferentes edades .....	35
Tabla 7: Datos de las parcelas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	37
Tabla 8: Datos de las parcelas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	38
Tabla 9: Datos de las parcelas de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	39
Tabla 10: Datos de las parcelas de <i>Guazuma Crinita</i> .....	39
Tabla 11: Datos de las parcelas de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	40
Tabla 12: Datos de las parcelas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	40
Tabla 13: Datos de las parcelas de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	41
Tabla 14: Datos de las parcelas de <i>Simarouba amara</i> .....	41
Tabla 15: Información de las parcelas instaladas .....	42
Tabla 16: Prueba <i>t</i> de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	55
Tabla 17. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> ....	63
Tabla 18: Prueba <i>t</i> de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	68
Tabla 19. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	77
Tabla 20: Prueba <i>t</i> de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	83
Tabla 21. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	91
Tabla 22: Prueba <i>t</i> de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Guazuma crinita</i> .....	98
Tabla 23. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Guazuma crinita</i> .....	106
Tabla 24: Prueba <i>t</i> de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Pinus tecunumanii</i> ....	113
Tabla 25. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	121
Tabla 26: Prueba <i>t</i> de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	126
Tabla 27. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Retrophyllum rospibliosii</i> .....	133

Tabla 28: Prueba $t$ de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	139
Tabla 29. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Schizolobium amazonicum</i> ....	146
Tabla 30: Prueba $t$ de Student para los indicadores de crecimiento de <i>Simarouba amara</i> .....	151
Tabla 31. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de <i>Simarouba amara</i> .....	159
Tabla 32. Indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal de las ocho especies en estudio.....	162

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	52
Figura 2: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	53
Figura 3: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	56
Figura 4: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	57
Figura 5: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	59
Figura 6: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	61
Figura 7: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Calycophyllum spruceanum</i> .....	62
Figura 8: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	65
Figura 9: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	66
Figura 10: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento para <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	70
Figura 11: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> ...	71
Figura 12: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	74
Figura 13: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	75
Figura 14: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	77
Figura 15: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	80
Figura 16: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	81
Figura 17: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento para <i>Dipteryx ferrea</i> .....	84
Figura 18: Indicadores de productividad de las cinco parcelas de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	85
Figura 19: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	88

Figura 20: Indicadores de espesura de masa forestal de las cinco parcelas de <i>Dipteryx ferrea</i>	89
Figura 21: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Dipteryx ferrea</i> .....	90
Figura 22: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Guazuma crinita</i> .....	93
Figura 23: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Guazuma crinita</i> .....	95
Figura 24: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para <i>Guazuma crinita</i> .....	99
Figura 25: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de <i>Guazuma crinita</i> .....	100
Figura 26: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de <i>Guazuma crinita</i> .....	103
Figura 27: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de <i>Guazuma crinita</i> .....	104
Figura 28: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Guazuma crinita</i> .....	105
Figura 29: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	109
Figura 30: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	110
Figura 31: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para <i>Pinus tecunumanii</i> .....	114
Figura 32: Indicadores de productividad de las cinco parcelas de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	115
Figura 33: Análisis de Componentes Principales de los indicadores los indicadores de productividad de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	117
Figura 34: Indicadores de espesura de masa forestal de las cinco parcelas de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	118
Figura 35: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Pinus tecunumanii</i> .....	120
Figura 36: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	123
Figura 37: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	124
Figura 38: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento para <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	127
Figura 39: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	129

Figura 40: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	130
Figura 41: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	131
Figura 42: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	132
Figura 43: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	135
Figura 44: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	136
Figura 45: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	140
Figura 46: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	142
Figura 47: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	143
Figura 48: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	144
Figura 49: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Schizolobium amazonicum</i> .....	145
Figura 50: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de <i>Simarouba amara</i> .....	148
Figura 51: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de <i>Simarouba amara</i> .....	149
Figura 52: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento de <i>Simarouba amara</i> .....	152
Figura 53: Indicadores de productividad de las cinco parcelas de <i>Simarouba amara</i> .....	154
Figura 54: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para <i>Simarouba amara</i> .....	156
Figura 55: Indicadores de espesura de masa forestal de las cinco parcelas de <i>Simarouba amara</i> .....	157
Figura 56: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de <i>Simarouba amara</i> .....	158



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1: Datos generales de las parcelas temporales instaladas en las plantaciones forestales de las especies en estudio .....	186
Anexo 2: Tecnología <i>Field - Map</i> .....	188

## I. INTRODUCCIÓN

El artículo 11 de La Ley Forestal y de Fauna Silvestre (MIDRAGRI 2015) define plantaciones como ecosistemas forestales constituidos a partir de la intervención humana mediante la instalación de una o más especies forestales, nativas o introducidas, con fines de producción de madera o productos forestales diferentes de la madera, de protección, de restauración ecológica, de recreación, de provisión de servicios ambientales o cualquier combinación de los anteriores. El artículo 2 del Decreto Supremo N° 020-2015-MINAGRI (MIDRAGRI 2015), decreto que aprueba el Reglamento para la Gestión Sostenible de las Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales, declara de interés nacional la promoción de las plantaciones forestales y sistemas agroforestales, por contribuir al desarrollo industrial, a la seguridad alimentaria y nutricional, a la protección de los suelos, a la regulación hídrica, a la provisión de servicios ecosistémicos y a la recuperación y restauración de ecosistemas.

Guariguata *et al.* (2017) señalan que las plantaciones forestales en el Perú se caracterizan por su baja productividad; consecuencia de un deficiente manejo silvicultural, reducido mejoramiento genético, escasa aplicación de técnicas de mejoramiento de suelos y falta de criterios para la selección de sitios.

Flores (2010) menciona que para alcanzar resultados exitosos se requiere del conocimiento profundo de la silvicultura de las especies forestales seleccionadas en los programas de reforestación. En el caso de nuestro país existe insuficientes elementos técnicos para la implementación de plantaciones forestales.

Para responder a esta necesidad se propuso la presente investigación, que buscó evaluar la respuesta silvicultural de ocho especies forestales nativas y exóticas de valor comercial instaladas en plantaciones forestales en la Amazonía peruana.

Las especies estudiadas fueron *Calycophyllum spruceanum* “Capirona”, *Cedrelinga cateniformis* “Tornillo”, *Dipteryx ferrea* “Shihuahuaco”, *Guazuma crinita* “Bolaina”, *Pinus tecunumanii* “Pino”, *Schizolobium amazonicum* “Pino chuncho”, *Retrophyllum rospigliosii* “Ulcumano” y *Simarouba amara* “Marupá”.

Se plantearon dos objetivos específicos:

- Evaluar indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal en plantaciones de ocho especies forestales de valor comercial instaladas en la Amazonía peruana.
- Relacionar los indicadores de crecimiento y productividad de las especies forestales en estudio, respecto a las condiciones de suelo y edad de las plantaciones forestales evaluadas.

Todo ello permitió elaborar una tabla de indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal relacionada a la edad de plantación y pH y textura de suelo; que constituye una línea base para orientar la evaluación, investigación y manejo de las plantaciones forestales en el país.

Finalmente, cabe indicar que esta investigación fue parte del proyecto *Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3: Construcción de tablas con indicadores de crecimiento, productividad y propiedades tecnológicas mediante pruebas no destructivas en relación a la edad de plantaciones forestales en ocho especies de valor económico*, a cargo del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (FCF-UNALM).

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 PLANTACIONES FORESTALES**

#### **2.1.1 Definición de plantaciones forestales**

El artículo 11 de La Ley Forestal y de Fauna Silvestre (MIDAGRI 2015) define plantaciones forestales como ecosistemas forestales constituidos a partir de la intervención humana, mediante la instalación de una o más especies forestales -nativas o introducidas- con fines de producción de madera o productos forestales diferentes de la madera, de protección, de restauración ecológica, de recreación, de provisión de servicios ambientales o cualquier combinación de los anteriores. No considera como plantaciones forestales a los cultivos agroindustriales ni los cultivos agroenergéticos como el cultivo de palma aceitera.

FAO (2002) define plantaciones forestales a los rodales forestales establecidos mediante la plantación y/o siembra durante el proceso de forestación o reforestación; con especies nativas o introducidas. Asimismo, indica que la plantación forestal debe cumplir con los requisitos de una superficie mínima de 0,5 ha; una cubierta de copa de al menos 10 por ciento de la cubierta de la tierra, y una altura total de los árboles adultos mayor a 5 m.

Ambas definiciones coinciden en que las plantaciones forestales son ecosistemas forestales constituidos a partir de la instalación de árboles en el campo, formando parte así de la silvicultura basada en la regeneración artificial.

### **2.1.2 Beneficios de las plantaciones forestales**

FAO (2002) señala que las plantaciones forestales contribuyen con beneficios económicos, sociales y ambientales.

Pandey y Ball (1999) destacan entre los beneficios económicos:

- La producción de madera aserrada.
- La producción de pulpa de celulosa para la elaboración de papel.
- La provisión de materia prima para la producción de energía.
- El desarrollo de una industria secundaria focalizada en la transformación de la madera en productos finales.

Reforestadora Amazónica (2014) señala como beneficios sociales:

- La generación de puestos de trabajo, especialmente en zonas rurales.
- La provisión de madera a pequeños propietarios para satisfacción de sus necesidades de construcción y combustible.

Cabrera (2003) señala como beneficios ambientales:

- La contribución a la conservación de la diversidad biológica.
- La protección de los suelos.
- La mejora del clima a nivel local.
- La contribución a mitigar los efectos del cambio climático.

### **2.1.3 Clasificación de las plantaciones forestales**

FAO (2002) afirma que entre la regeneración natural sin asistencia y la reforestación existe una amplia gama de condiciones del bosque en las cuales acontece la intervención humana. Cabrera (2003) clasifica las plantaciones forestales en función a cuatro criterios (Tabla 1).

**Tabla 1: Clasificación de las plantaciones forestales**

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de plantación</b>	<b>Características</b>
Ecosistema donde se realizó la plantación	Plantación en pleno (*)	Se instalan los árboles en sitios que carecen de cobertura vegetal.
	Plantación agroforestal	Incorpora en la plantación forestal un cultivo agrícola o pecuario. El objetivo principal del sistema es el cultivo forestal.
	Plantación de enriquecimiento	Se realiza con el objetivo de instalar especies de valor comercial en el bosque natural. Se desarrolla en fajas, parcelas, claros. El enriquecimiento en parcelas también se considera plantación en pleno.
	Plantación de enriquecimiento con manejo de regeneración natural	Además de incorporar individuos mediante la plantación, también favorece el crecimiento de individuos del bosque que poseen valor comercial.
Composición florística de la plantación	Plantación pura o mono específica	Se instala una sola especie forestal.
	Plantación mixta	Se instalan dos o más especies en el mismo sitio.
Origen de las especies plantadas	Plantación nativa	Se instalan especies nativas.
	Plantación exótica	Se instalan especies exóticas o introducidas.
	Plantación combinada	En el mismo sitio se instalan especies nativas e introducidas
Destino de la producción	Plantación industrial	Produce materia prima para la industria

<< Continuación >>

Plantación energética	Produce materiales que serán usados como combustibles.
Plantación de uso múltiple	Satisfacen múltiples propósitos.

Nota: (\*) También se denomina plantación pura.

Fuente: Cabrera (2003)

En particular, Flores (2010) señala que las plantaciones puras también se denominan plantaciones a campo abierto o a tala rasa. ITTO (1993) precisa que en este tipo de plantaciones los árboles se instalan a pleno sol, a un distanciamiento regular, a altas densidades y, por lo general, en terrenos abandonados por la agricultura o la ganadería.

Por otro lado, en las plantaciones en fajas de enriquecimiento los árboles se instalan en fajas que han sido abiertas dentro del bosque. La orientación de la faja es de este a oeste, ello permite un mejor aprovechamiento de la luminosidad (ITTO 1993). La plantación en faja tiene por finalidad aumentar el valor económico del bosque mediante la plantación de especies valiosas o comerciales. Se utiliza generalmente en lugares donde la regeneración natural de las especies comerciales no se establece o lo hacen de una manera deficiente (Quintero 1995).

Finalmente, en plantaciones en sistemas agroforestales los árboles interactúan con cultivos agrícolas y/o producción animal con el objetivo de lograr la sostenibilidad económica y ambiental del sistema en el tiempo (ONF 2013).

#### **2.1.4 Evaluación de plantaciones forestales**

Torres y Magaña (2001), citados por Samaniego (2013), definen evaluación como la aplicación de técnicas para recopilar información de variables de una plantación forestal con la finalidad de elaborar un plan operativo. Asimismo, indican que en la planificación de la evaluación de una plantación forestal se debe tomar en cuenta sus objetivos, factores de tiempo y recursos disponibles. También señalan que resulta importante establecer el diseño el muestreo, la forma

y tamaño de parcela de muestreo, validar la información de campo, analizar la información y presentar los resultados.

Gregersen *et al.* (1995), citados por Vega (2013), afirman que a partir de la evaluación de plantaciones se obtiene información para identificar problemas y oportunidades y vigilar las diferentes etapas de la plantación, y de esta manera mejorar sus resultados.

Torres y Magaña (2001), citados por Vega (2013), indican que al ser las plantaciones forestales proyectos a largo plazo, la evaluación periódica de plantaciones resulta importante para saber si están cumpliendo los objetivos.

Samaniego (2013) clasifica la evaluación de plantaciones forestales en cualitativa y cuantitativa. En cuanto a la evaluación cualitativa, Samaniego (2013) indica que se orienta a la producción de madera y busca el desarrollo de metodologías para evaluar la calidad de la plantación mediante el estudio de la forma, aspecto y defectos de la madera de los árboles.

Respecto a la evaluación cuantitativa, Samaniego (2013) señala que depende del objeto de estudio. Citando a Torres y Magaña (2001), la subdivide en dos categorías: evaluación de supervivencia y evaluación de crecimiento. La evaluación de supervivencia registra el número de árboles vivos y muertos. La evaluación de crecimiento evalúa el crecimiento horizontal (diámetro), crecimiento vertical (altura), crecimiento de biomasa y rendimiento para identificar tratamientos silviculturales que optimicen las tasas de crecimiento de la plantación.

### **2.1.5 Las plantaciones forestales en el mundo y en el Perú**

La FRA 2020 (FAO 2020) reportó 294 millones de hectáreas de bosques plantados a nivel mundial, lo que representa el siete por ciento de área boscosa mundial.

Cabe mencionar que en la FRA 2020 la FAO (2020) considera dos subcategorías dentro de la categoría de bosque plantado. Primero, la categoría plantaciones forestales; que agrupa al bosque plantado bajo manejo intensivo, constituido por una o dos especies e instaladas en una



misma época. Segundo, la categoría otro bosque plantado; que no cumple las características de una plantación forestal y en su fase madura se asemeja a un bosque regenerado naturalmente.

FAO (2020) señala que desde 1990 la superficie mundial de bosques plantados está en aumento; sin embargo, la tasa de crecimiento se redujo en el periodo 2010-2020 a 1,11 por ciento anual, lo que equivale a 3,06 millones de hectáreas al año de nuevos bosques plantados.

De acuerdo a FAO (2020), América del sur reportó 20 245 miles de hectáreas de bosques plantados, lo que representa el dos por ciento de la superficie boscosa total de esta región. La tasa de crecimiento de superficie de plantaciones también está en descenso en esta región. Para el periodo 2010-2020 alcanzó el 3,14 por ciento, lo que equivale a 538 mil hectáreas al año.

Para el caso peruano, la FRA 2020 (FAO 2020) reporta 1 088 000 ha de bosques plantados con una tasa de crecimiento de 1,16 por ciento en el último decenio, lo que equivale a 11 860 ha al año. En comparación con periodos anteriores, la tasa de incremento de la superficie de bosques plantados se redujo en los últimos diez años.

El Informe FRA 2020 Perú (FAO 2020) indica que la información de bosques plantados disponible en el país proviene de datos de superficies reforestadas acumuladas. Asimismo, el informe señala que una sobreestimación de los datos resulta probable porque en el transcurso del tiempo algunas de las plantaciones han sido aprovechadas y otras se han perdido por incendios u otras causas.

Guariguata *et al.* (2017) también indican que la superficie de plantaciones forestales en Perú está sobreestimada porque la mayoría de reportes se basan en número de plántulas sembradas o que salieron de viveros. Por otro lado, señalan que la superficie de plantaciones del Perú es bastante baja en relación a la superficie total del país y en comparación con países vecinos como Brasil y Chile, que cuentan con millones de hectáreas de plantaciones altamente tecnificadas y productivas.

Guariguata *et al.* (2017) afirman que la baja productividad de las plantaciones forestales peruanas se debe al deficiente manejo silvicultural, al uso de semillas de baja calidad genética, la limitada aplicación de técnicas de mejoramiento de suelos y la falta de criterio para la selección de sitios. Asimismo, resaltan la problemática de la tenencia de tierra en el Perú, que frena la inversión privada en plantaciones forestales.

## **2.2 EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO, PRODUCTIVIDAD Y ESPESURA DE MASA FORESTAL EN PLANTACIONES FORESTALES**

### **2.2.1 Evaluación del crecimiento de árboles en plantaciones forestales**

Diéguez *et al.* (2003) definen crecimiento del árbol, o de una masa forestal, como el aumento en tamaño o la modificación de las dimensiones de alguna variable (diámetro del fuste, altura del fuste, entre otras) ocurrido durante un periodo de tiempo. Además, indican que el crecimiento del árbol resulta de la actividad de los tejidos meristemáticos.

Diéguez *et al.* (2003) señalan que los tejidos meristemáticos primarios son responsables del crecimiento en longitud; por ejemplo, la altura y la longitud de ramas y raíces. El cambium o tejido meristemático secundario causa el crecimiento en grosor o diámetro. Por ello, el crecimiento de un árbol puede evaluarse en base a diferentes parámetros; por ejemplo, el diámetro, la altura, el volumen, las dimensiones de la copa, entre otros. Finalmente, mencionan que el crecimiento en diámetro y altura son los parámetros que se miden con mayor frecuencia. A partir de ellos se puede estimar el crecimiento en volumen.

A continuación, se definen los parámetros de crecimiento que se consideraron en la evaluación de la respuesta silvicultural de las especies forestales en estudio.

#### **a. Diámetro a la altura de pecho (dap)**

Prodan *et al.* (1997) señalan que el diámetro a la altura de pecho (dap) es un diámetro representativo del árbol y se mide a 1,3 m desde el nivel del suelo; medido sobre pendiente.

Diéguez *et al.* (2003) indican que el dap permite estimar el área basal del fuste a la altura de 1,3m.

Prodan *et al.* (1997) mencionan que la medición directa o indirecta del diámetro de un árbol en pie se puede realizar con diferentes instrumentos: forcípula, cinta diamétrica, vara Biltmore, forcípula de tarifa o sector de diámetro de Bitterlich, dendrómetros o forcípuas ópticas.

Diéguez *et al.* (2003) señalan que la edad del árbol, la especie, la calidad de sitio y los tratamientos silviculturales son los factores que intervienen en el crecimiento del diámetro.

#### **b. Altura comercial ( $h_c$ )**

Diéguez *et al.* (2003) definen la altura de un árbol como la distancia entre su base y su ápice, medida sobre el eje del árbol. Indican que, si bien lo más frecuente es medir la altura total del árbol, existen otras alturas denominadas alturas de referencia; por ejemplo, la altura comercial, la altura hasta la base de la copa, la altura hasta un punto de ruptura, entre otras.

Salazar (1989) menciona que cuando se estudia la producción madera, interesa medir la altura comercial del árbol. Pinelo (2004) señala que la altura comercial representa la parte del fuste aprovechable comercialmente y se mide desde la base del árbol hasta donde inicia la copa, o hasta donde haya alguna limitación como una deformación o daño. INAB (1999) señala que la altura comercial también se mide hasta un diámetro superior mínimo de aprovechamiento.

Müller y Tischendorf (1927), citados por Prodan *et al.* (1997), mencionan que la medición directa de la altura usando reglas o varas se dificulta cuando los árboles miden más de 8 m a 10 m de alto; por ello, para la medición de este parámetro se utilizan instrumentos ópticos basados en principios geométricos y trigonométricos como el hipsómetro.

Diéguez *et al.* (2003) mencionan que la altura del árbol y el dap permiten estimar otras variables del árbol como el volumen de madera o la biomasa. En el caso particular de la altura señalan que, además, permite asignar la capacidad productiva o calidad de sitio y calcular indicadores de estabilidad del árbol como el coeficiente de esbeltez o el índice de copa viva.

Prodan *et al.* (1997) señalan que la altura de un árbol depende de la especie, la calidad de sitio, la edad de plantación y el manejo del rodal.

### **c. Área basal (g)**

Diéguez *et al.* (2003) definen área de sección a la superficie que resulta de la intersección del fuste con un plano perpendicular a su eje longitudinal en una determinada altura. Cuando el área de sección se encuentra a la altura del dap se denomina área basal. Este valor resulta muy importante porque está relacionado con el volumen del árbol.

Prodan *et al.* (1997) indican que la sección normal no se mide directamente, sino que resulta de la medición del dap.

### **d. Volumen comercial ( $V_c$ )**

Prodan *et al.* (1997) definen volumen comercial como el volumen neto de madera rolliza potencialmente útil. Salazar (1989) precisa la definición y señala que el volumen comercial es la porción del volumen del fuste que puede ser utilizada para aserrar, moler o desenrollar. Asimismo, indica que el volumen comercial se considera desde el punto de corte del árbol hasta el diámetro menor que se defina como comercial o hasta el punto del fuste donde se bifurca. Resalta que para evaluar el volumen comercial se deben cuantificar las secciones sanas y sin grandes deformaciones.

## **2.2.2 Evaluación de la productividad de plantaciones forestales**

Lorea y Sepúlveda (2015) definen productividad como el crecimiento que experimenta un árbol o masa forestal en un periodo de tiempo determinado, usualmente un año.

IICA (1976) resalta tres conceptos de productividad: (a) Incremento Corriente Anual (ICA), que registra el incremento ocurrido durante un año; (b) Incremento Periódico Anual (IPA), incremento medio anual registrado durante un periodo de años; y (c) Incremento Medio Anual (IMA), incremento medio anual registrado durante la edad de un árbol.

Loera y Sepúlveda (2015) señalan que el ICA sirve para medir la magnitud de incremento anual de un árbol o una masa forestal coetánea y resulta una medida biológica de los árboles; mientras que el IMA sirve para medir el incremento promedio a lo largo de la vida de un árbol o una masa forestal coetánea y resulta una medida de la productividad media de los árboles. Hagglund (1981), citado por Prodan *et al.* (1997), considera que el IMA expresa la productividad del sitio forestal.

INAB (2017) señala que los siguientes indicadores del IMA constituyen estimadores prácticos de la producción de una plantación en el tiempo: (a) Incremento Medio Anual en diámetro a la altura de pecho, (b) Incremento Medio Anual en altura comercial, (c) Incremento Medio Anual en área basal y (d) Incremento Medio Anual en volumen.

A continuación, se definen los parámetros de productividad que se consideraron en la evaluación de la respuesta silvicultural de las especies forestales en estudio.

#### **a. Incremento medio anual en diámetro a la altura de pecho (IMA *dap*)**

Adaptando la definición de incremento medio anual de Imaña y Encinas (2008), se define incremento medio anual en diámetro a la altura de pecho (IMA *dap*) como la relación entre el valor actual del diámetro a la altura de pecho y la edad del árbol. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IMA\ dap = \frac{\overline{dap}}{t}$$

Donde:

IMA *dap* = Incremento medio anual en diámetro a la altura de pecho (cm/año)

$\overline{dap}$  = Diámetro a la altura de pecho promedio (cm)

t = Edad de plantación (año)

### **b. Incremento medio anual en altura comercial (IMA $h_c$ )**

Ramírez (2017) define incremento medio anual en altura como la relación del crecimiento vertical de la especie forestal y la edad. El Incremento medio anual en altura comercial (IMA  $h_c$ ) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IMA H_c = \frac{\overline{h_c}}{t}$$

Donde:

IMA  $h_c$  = Incremento medio anual en altura comercial (m/año)

$\overline{h_c}$  = Altura comercial promedio (m)

t = Edad de plantación (año)

### **c. Incremento medio anual en área basal (IMA G)**

Adaptando la definición de incremento medio anual de Imaña y Encinas (2008), se define incremento medio anual en área basal como la relación entre el valor actual del área basal por hectárea y la edad de plantación. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IMA G = \frac{G}{t}$$

Donde:

IMA G = Incremento medio anual en área basal (m<sup>2</sup>/ha/año)

G = Área basal llevado a la hectárea (m<sup>2</sup>/ha)

t = Edad de plantación (año)

Imaña y Encinas (2008) señalan que el área basal se evalúa en función de la medición del diámetro y que un incremento anual constante del área basal implica que el crecimiento en diámetro disminuye.

Prodan *et al.* (1997) indican que el área basal de una plantación forestal resulta un elemento importante para su caracterización porque permite definir el grado de densidad de la masa

forestal y volumen de madera. También señalan que, en la relación entre el área basal y el volumen existe un marcado paralelismo.

Camacho y Villalobos (1995) mencionan que el área basal puede servir mejor que el dap para indicar la productividad puesto que el dap podría tener un valor alto debido a una baja densidad de árboles y, por lo tanto, baja competencia.

#### **d. Incremento medio anual en Volumen Comercial ( $V_c$ )**

Adaptando la definición de incremento medio anual de Imaña y Encinas (2008), se define incremento medio anual en volumen comercial como la relación entre el valor actual de volumen comercial por hectárea y la edad de plantación. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IMA V_c = \frac{V}{t}$$

Donde:

IMA  $V_c$  = Incremento medio anual en volumen comercial ( $m^3/ha/año$ )

V = Volumen comercial llevado a la hectárea ( $m^3/ha$ )

t = Edad de plantación (año)

Salazar (1989) menciona que la cuantificación de la producción anual o incremento anual de una plantación forestal se debe expresar en términos de volumen por hectárea al año.

### **2.2.3 Evaluación de la espesura de masa forestal**

El Diccionario Forestal de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF 2005) define la espesura de masa forestal como el grado de agrupamiento o proximidad entre los árboles de una masa forestal. González (2011) menciona que la espesura interviene en el desarrollo de la masa forestal porque influye en su sobrevivencia al favorecer o dificultar la regeneración de especies forestales. Además, interviene en la calidad de fustes porque favorece o dificulta la poda natural e influye en el crecimiento de los árboles y la producción en volumen maderable.

SECF (2005) señala tres niveles para la espesura de masa forestal:

- a. Espesura normal, que resulta la más adecuada para obtener la máxima eficiencia en relación con una determinada función u objetivo, con una determinada composición específica y en un sitio determinado.
- b. Espesura defectiva, cuando la masa forestal resulta inferior a la necesaria para obtener la máxima eficiencia en relación con una determinada función u objetivo, con una determinada composición específica y en un sitio determinado.
- c. Espesura excesiva, cuando la masa forestal resulta superior a la necesaria para obtener la máxima eficiencia en relación con una determinada función u objetivo, con una determinada composición específica y en un sitio determinado.

González (2011) indica que la espesura defectiva y la espesura excesiva reducen el crecimiento neto en volumen de productos de interés comercial en comparación con la espesura normal. Asimismo, menciona que la determinación del nivel espesura de masa forestal resulta importante para la gestión forestal porque permite reducir o aumentar el turno de la masa, favorecer el desarrollo de determinadas especies y maximizar la producción de un determinado producto comercial.

Prodan *et al.* (1997) mencionan que se han desarrollado índices de productividad que combinan el incremento en volumen en un periodo de tiempo con el nivel de densidad de una plantación (por lo general la densidad completa o normal). Para la evaluación de la espesura de masa forestal se utilizan índices de espesura.

A continuación, se definen los índices de espesura de masa forestal que se consideraron en el análisis de la respuesta silvicultural de las ocho especies forestales en estudio.

#### **a. Densidad (D)**

García (2010) señala que la densidad expresa el número promedio de árboles por hectárea. Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:



$$D = \frac{10\,000 \times A}{S}$$

Donde:

D = Densidad (árboles/ha)

A = Número de árboles en la parcela

S = Superficie de la parcela (en m<sup>2</sup>)

Suatunce *et al.* (2009) señalan que la densidad de una plantación depende del objetivo y los costos. Diferencian dos situaciones: plantaciones con densidad alta; orientadas para la producción de fustes rectos, y plantaciones con densidades menores; cuando se requiere árboles con copas amplias e iluminadas para la producción de frutos.

González (2011) menciona que este indicador no toma en cuenta las dimensiones de los árboles por eso para su interpretación se deben analizar conjuntamente otros indicadores.

#### **b. Área basal por hectárea (G)**

González (2011) indica que el área basal es uno de los índices de espesura de masa forestal más utilizados porque combina la densidad (número de individuos por hectárea) con la dimensión de cada árbol (representada mediante al área de su sección normal). Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$G = \frac{10\,000 \times g}{S}$$

Donde:

G = Área basal por hectárea (m<sup>2</sup>/ha).

g = Suma de todas las secciones normales de los árboles evaluados (m<sup>2</sup>)

S = Superficie evaluada (en m<sup>2</sup>)

Gonzales (2011) afirma que resulta importante establecer una clasificación de la espesura de masa forestal en base al área basal propia para cada plantación; sin embargo, cuando no se cuenta con información puede emplearse la clasificación propuesta en la Tabla 2.

**Tabla 2: Clasificación de la espesura de masa arbórea en base al área basal por hectárea**

<b>Espesura</b>	<b>G(m<sup>2</sup>/ha)</b>
Trabada	> 59,2
Excesiva	> 34,6 y ≤ 59,2
Normal	> 22,7 y ≤ 34,6
Defectiva	> 13,7 y ≤ 22,7
Clara	> 4,9 y ≤ 13,7
Muy clara	≤ 4,94
Raso	0

Fuente: Gonzáles (2011)

Camacho y Villalobos (1995) señalan que el área basal se emplea como un índice de competencia entre los árboles; en ese sentido, cuando el área basal de una plantación forestal pasa un valor crítico, se debe raleo. Ugalde y Gómez (2006) establecen que el raleo se debe realizar cuando la plantación alcanza entre 20 m<sup>2</sup>/ha a 25 m<sup>2</sup>/ha de área basal. Estos autores sugieren se debe raleo hasta alcanzar entre 14 m<sup>2</sup>/ha y 17 m<sup>2</sup>/ha de área basal.

### **c. Fracción de cabida cubierta (FCC)**

García (2010) señala que la Fracción de Cabida Cubierta (FCC) indica el porcentaje de la superficie del suelo que se encuentra cubierta por la proyección de las copas de los árboles. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FCC = \frac{\sum S_{copa}}{S} \times 100$$

Donde:

FCC: Fracción de cabida cubierta (expresado en porcentaje)

$\sum S_{copa}$ : Sumatoria de la superficie de la proyección ortogonal de las copas de los árboles de la parcela (m<sup>2</sup>)

S: superficie de la parcela (m<sup>2</sup>)

En las Instrucciones Técnicas de Normalización de la Planificación Forestal (Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León 2010) se establecen cuatro categorías para la fracción de cabida cubierta para calificar la espesura de masa forestal (Tabla 3).

**Tabla 3: Categorías de Fracción de Cabida Cubierta**

<b>Espesura</b>	<b>FCC</b>
Arbolado cerrado	> 70 por ciento
Arbolado semicerrado	> 40 y ≤ 70 por ciento
Abierta	> 5 y ≤ 40 por ciento
Raso forestal	> 0 y ≤ 5 por ciento

Fuente: Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010)

Novillo (2012) afirma que la FCC es una variable importante para analizar la cobertura forestal porque a través de ella se puede estimar otras variables.

#### **d. Índice de Hart-Becking o Índice de espaciamiento (RS)**

Prodan *et al.* (1997) señalan que el índice de Hart-Becking representa el espaciamiento medio del rodal como proporción del desarrollo alcanzado por los árboles. Para diseños de plantación rectangulares el Índice de Hart-Becking respecto a la altura se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RS_H = \frac{10\,000}{H \times \sqrt{N}}$$

Donde:

$RS_H$  = Índice de Hart-Becking (expresado en porcentaje)

$N$  = Número de árboles por hectárea

$H$  = Altura representativa del rodal expresada en metros

González (2011) calcula el índice de Hart-Becking para diseños de plantación en tres bolillos mediante la siguiente fórmula:

$$RS_H = \frac{\sqrt{\frac{20\,000}{N\sqrt{3}}}}{H} \times 100$$

Donde:

$RS_H$  = Índice de Hart-Becking (expresado en porcentaje)

N = Número de árboles por hectárea (árboles/ha)

H = Altura representativa del rodal expresada en metros (m)

Prodan *et al.* (1997) indican que mientras más alto sea el número de árboles para un estado de desarrollo de una plantación forestal, menor es el valor del Índice de Hart-Becking; en ese sentido, cuando la densidad de un rodal es máxima entonces el Índice de Hart-Becking es mínimo. Asimismo, mencionan que el Índice de Hart-Becking se emplea en el manejo silvicultural de plantaciones, en particular permite prescribir los raleos.

Prodan *et al.* (1997) señalan ejemplos de plantaciones forestales donde el raleo se prescribía cuando el Índice de Hart-Becking de la plantación se encontraba entre 12 y 26. También señalan el caso de Rocuant, que utilizó el Índice de Hart-Becking para determinar la necesidad e intensidad del raleo en plantaciones de *Pinus insigne*. Rocuant determinó que con un Índice de Hart-Becking bajo de 15, el raleo resultó insuficiente; con un Índice de Hart-Becking sobre 20, el raleo fue demasiado intenso y afectó la recuperación del área basal. Ugalde y Gómez (2006) señalan que muchos silvicultores prescriben raleos cuando el Índice de Hart-Becking se encuentra entre 20 por ciento y 28 por ciento.

### **2.3 SUELO Y CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES**

Diéguez *et al.* (2003) señalan que el crecimiento de un árbol está influenciado por la interacción de factores genéticos, ambientales y silviculturales. Diferencian los factores ambientales entre

abióticos y bióticos. Dentro de los factores abióticos mencionan las condiciones climáticas, edáficas y fisiográficas. Precisan que las condiciones del suelo son determinantes en el crecimiento de los árboles.

Alvarado y Raigosa (2007) indican que cada especie forestal tiene necesidades nutricionales propias. Precisan que especies de crecimiento rápido tienen requerimientos nutricionales más elevados que especies de crecimiento lento; aunque la cantidad de nutrientes extraídos en el producto cosechado son mayores en este último tipo de especies.

Sarmiento (1984), citado por Alvarado y Raigosa (2007), afirma que el nitrógeno es el elemento que limita más el crecimiento de los árboles en plantaciones en todo el mundo. En el caso particular de regiones tropicales el fósforo resulta igualmente limitante.

A continuación, se describen los dos parámetros del suelo que se consideraron en el presente estudio.

#### **a. El pH del suelo**

Toledo (2016) define pH como una medida de la concentración de hidrógeno en la solución suelo. Su escala de medición va de 1,0 a 14,0; donde 7,0 significa neutro.

Kass (1996) señala que el pH influye en la disponibilidad de nutrientes en el suelo ya que a cierto nivel de pH algunos elementos forman precipitados en la solución suelo lo que los hace no solubles y no disponibles para las raíces de las plantas. Toledo (2016) indica que por lo general un pH del suelo entre 6,0 y 7,0 ofrece la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En función al pH, Kass (1996) diferencia los suelos en dos categorías:

- Suelos donde predomina la acidez (el pH es menor a 7,0), característicos de regiones tropicales húmedas y cálidas. Alvarado y Raigosa (2007) precisan que en las regiones tropicales húmedas la acidez del suelo reduce la disponibilidad de calcio (Ca), magnesio

(Mg), molibdeno (Mo) y fósforo (P) pero aumenta la disponibilidad de hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn). En estos suelos la mayor disponibilidad de nitrógeno (N) ocurre cuando el pH se encuentra entre 6,0 y 7,0.

Conti (2007) encuentra como causas de la acidez del suelo el lavado de sales y cationes del perfil del suelo (sobre todo en sitios con alta precipitación), la aplicación de fertilizantes (en particular de sulfato y nitrato de amonio), y la actividad biológica (en especial la actividad microbiana).

- Suelos donde predomina la alcalinidad (el pH es mayor a 7,0), generalmente presentes en zonas con climas secos donde la evapotranspiración potencial es mayor que la precipitación. Alvarado y Raigosa (2007) precisan que en regiones tropicales húmedo-secas, con presencia de suelos Alfisoles y Vertisoles, el pH del suelo es mayor a 6,5 lo que eleva la disponibilidad de Ca, Mg y potasio (K) pero reduce la disponibilidad de elementos menores como Zn, B y azufre (S).

Conti (2007) indica que la alcalinidad del suelo resulta de la ausencia de una lixiviación propia en climas secos (que genera la acumulación de las sales producidas durante la meteorización en el perfil del suelo), la presencia de depósitos de agua salada o entradas de agua de mar, y la aplicación de fertilizantes de reacción básica como el nitrato de sodio.

Conti (2007) presenta la clasificación de pH elaborada por Scheffer y Schachtschabel, que se basa en evaluaciones de la solución suelo con cloruro de potasio (Tabla 4)

**Tabla 4: Clasificación de pH en KCl propuesta por Scheffer y Schachtschabel**

<b>pH</b>	<b>Término descriptivo</b>	<b>Zona</b>
< 4,0	Extremadamente ácido	
de 4,0 a 4,9	Fuertemente ácido	Zona ácida
de 5,0 a 5,9	Medianamente ácido	
de 6,0 a 6,9	Ligeramente ácido	
7	Neutro	Zona neutra
7,1 a 8	Ligeramente alcalino	

<< Continuación >>

---

8,1 a 9,0	Medianamente alcalino	
de 9,1 a 10	Fuertemente alcalino	Zona alcalina
> 10.1	Extremadamente alcalino	

---

Fuente: Conti (2007)

### **b. Textura del suelo**

Jordán (2016) indica que la textura del suelo hace referencia a la composición granulométrica de la fracción inorgánica del suelo. Conti (2007) señala que la granulometría expresa las proporciones relativas de las distintas partículas minerales que constituyen el suelo y cuyas dimensiones son menores a 2 mm.

Jordán (2016) menciona que, si bien generalmente se consideran partículas del suelo a la piedra, grava, arena, limo y arcilla, para determinar la textura del suelo se considera la proporción de arena, limo y arcilla presente en él.

Conti (2007) precisa que la textura expresa de manera sintética las características del suelo que dependen del tamaño de partículas que lo conforman. Jordán (2016) señala que la textura condiciona la mayoría de las propiedades físicas y químicas del suelo; precisando que la arcilla interviene directamente en los procesos químicos y físicos, y que la arena y el limo influyen fundamentalmente en las características físicas como la estructura, el color, la consistencia, la porosidad, el intercambio de fluidos (aireación y permeabilidad), el grado de hidromorfía y la retención de agua o los procesos de lavado.

De acuerdo a la clase textural, Jordan (2016) clasifica los suelos en suelos pesados o arcillosos, suelos medio y suelos ligeros o arenosos. Conti (2007) presenta una clasificación más detallada de los suelos en base a su clase textural (Tabla 5).

**Tabla 5: Correspondencia entre el nombre común y la clase textural**

<b>Nombre común</b>	<b>Textura</b>	<b>Clase textural</b>
Suelos arenosos	Gruesa	Arenoso
		Areno franco
	Moderadamente gruesa	Franco arenoso
		Franco
Suelos francos	Media	Franco limoso
		Limoso
		Franco arcillo arenoso
	Moderadamente fina	Franco arcillo limoso
		Franco arcilloso
Suelos arcillosos	Fina	Arcillo arenoso
		Arcillo limoso
		Arcilloso

Fuente: Conti (2007)

## **2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES FORESTALES EN ESTUDIO**

### **2.4.1 *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann**

#### **a. Clasificación taxonómica**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: *Calycophyllum*

Especie: *C. spruceanum*



### **b. Descripción botánica**

El árbol alcanza un dap de 50 cm a 120 cm y una altura total de 20 m a 35 m. Su fuste es recto, de forma cilíndrica y se bifurca a partir del último tercio. La corteza externa es muy característica, de color verde, homogénea, lustrosa y con ritidoma papiráceo que se desprende en placas grandes. En campo la especie se reconoce por sus hojas pequeñas, provistas de diminutos pelos en las axilas de los nervios secundarios del envés (Reynel *et al.* 2003).

### **c. Nombres comunes**

“Capirona”, “Capirona negra” (Reynel *et al.* 2003), “Capirona del bajo” (OSINFOR 2017). “Palo mulato” (Oshiro 2016).

### **d. Hábitat**

Naturalmente la especie se distribuye en toda la Amazonía, hasta el sur de Brasil y Bolivia, debajo de los 1 200 msnm. Se encuentra comúnmente en bosques secundarios, pero también en bosques primarios (Reynel *et al.* 2003). La especie es heliófita, hidrófita y durante una época del año pierde parcialmente sus hojas. Forma macizos en las orillas de los grandes ríos amazónicos que se conoce como “capironales” (Flores 2005).

### **e. Requerimientos ambientales y edáficos**

La especie ocurre en lugares con pluviosidad alta y constante, aunque también ocurre en zonas con una estación seca marcada. De preferencia crece en suelos mayormente limosos a arenosos, aluviales, fértiles, a veces temporalmente inundables, y en las zonas ribereñas. La especie tolera pedregosidad alta (OSINFOR 2017).

### **f. Plantación**

Sotelo *et al.* (2000), citados por Reynel *et al.* (2003), reportaron crecimientos en altura de 1,4 m a 1,6 m a los seis meses de plantación y de 3,5 m a 4,7 m al año de plantación. Flores (2019) reporta un incremento en dap de 2 cm/año a 3 cm/año; un incremento en altura de 2,5 m/año y un incremento en volumen de 8 m<sup>3</sup>/ha/año a 45 m<sup>3</sup>/ha/año.

## **g. Usos**

Reynel *et al.* (2003) resaltan que la madera de capirona es de muy buena calidad por ello se usa en la construcción rural, en carpintería, moldurado y parqueté. Oshiro (2016) puntualiza los siguientes usos de la madera de capirona: pisos, parqueté, molduras, tarugos, construcción naval, estructuras pesadas, vigas, carrocerías, tornería, mangos de herramientas y artículos deportivos como raquetas de tenis y *ping pong*.

### **2.4.2 *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke**

#### **a. Clasificación taxonómica**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Cedrelinga*

Especie: *C. cateniformis*

#### **b. Descripción botánica**

El árbol de esta especie alcanza un dap de 0.5 m a 2,0 m y una altura total de 20 m a 40 m. Su fuste es cilíndrico y presenta ramificaciones a partir del segundo o tercer tercio. Su corteza externa es agrietada a fisurada y de color marrón pardo a rojizo. Además de las características mencionadas, para su reconocimiento en campo se pueden observar sus hojas bipinnadas de foliolos asimétricos y sus frutos alargados y revirados (Reynel *et al.* 2003).

#### **c. Nombres comunes**

“Tornillo”, “Pino peruano” (Reynel *et al.* 2003), “Huagrascapi” (ITTO 2017).

#### **d. Hábitat**

La especie se distribuye naturalmente en Brasil, Colombia, Ecuador y Perú (ITTO 2017), hasta 1 200 msnm (Reynel *et al.* 2003).

La especie tiene tendencia esciófita y está presente en bosques primarios (Reynel *et al.* 2003).

#### **e. Requerimientos ambientales y edáficos**

Ocurre en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con clima fuertemente estacional. Crece en suelos arcillosos, ácidos, con buen drenaje y pedregosidad baja o nula (Flores 2019).

#### **f. Plantación**

Flores (2019) reporta un incremento diamétrico de 1,37 cm/año a 2,65 cm/año, un incremento en altura de 1 m/año a 1,2 m/año y un incremento en volumen de 8 m<sup>3</sup>/ha/año a 26 m<sup>3</sup>/ha/año.

#### **g. Usos**

Reynel *et al.* (2003) señalan que la madera de la especie es de excelente calidad y gran durabilidad.

En el Perú se emplea para construcción, carpintería y ebanistería (ITTO 2017). Además, se usa para láminas decorativas, tableros contrachapados y embalajes (Reynel *et al.* 2003).

### **2.4.3 *Dipteryx ferrea* Ducke**

#### **a. Clasificación taxonómica**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Dipteryx*

Especie: *D. ferrea*

#### **b. Descripción botánica**

Árbol de 1,8 m de dap y hasta 50 m de altura. La forma de su fuste puede variar desde tortuoso a cilíndrico. Su corteza externa se desprende en placas pequeñas. En la base del fuste posee aletas grandes, cóncavas y ramificadas (Honorio *et al.* 2018, citados por Flores 2019).

Se diferencia de las demás especies del género *Dipteryx* por sus folíolos orbiculares de hasta 7,5 cm de longitud y 5 cm de ancho, y por sus yemas de 12 mm de largo (Carvalho 2019, citado por Flores 2019).

#### **c. Nombres comunes**

“Shihuahuaco de hoja grande” (Párraga 2019). “Cumarú ferro” (Amaral *et al.* 1998) “Shihuahuaco” (Flores 2019).

#### **d. Hábitat**

La especie ocurre en la fase clímax del bosque, logrando alcanzar varios centenares de años de edad. Posee comportamiento heliófito y no forma agrupamientos densos. Naturalmente no prospera en pastos o terrenos abiertos. Finalmente menciona que ha sido reportado en zonas entre los 150 msnm a 600 msnm (Flores 2019). Naturalmente ocurre en el norte de Brasil y Perú (KEW 2019).

#### **e. Requerimientos ambientales y edáficos**

Flores (2019) indica que la especie se desarrolla en zonas con precipitaciones anuales promedio entre los 2 500 mm a 4 500 mm. También menciona que la especie puede desarrollarse en una gran variedad de suelos: desde suelos arenosos hasta muy arcillosos (siempre y cuando estén bien drenados) y desde suelos pobres y ácidos hasta suelos ricos en nutrientes.

#### **f. Plantación**

Flores (2019) reporta para un sistema agroforestal de 15 años un dap promedio de 24,2 cm y una altura total promedio de 13,75 m. Para el caso de una plantación experimental de 17 años de edad donde se aplicó humus de lombriz reporta un dap promedio de 23,1 cm y una altura total de 12,87 m.

#### **g. Usos**

Flores (2019) menciona que la madera de la especie se caracteriza por ser pesada, de color marrón, con jaspes claros y un lustre moderado. Asimismo, indica que la madera de la especie se usa comúnmente para durmientes, carrocerías, puentes, pisos, construcción pesada, carpintería de exterior, machihembrados y parqué.

### **2.4.4 *Guazuma crinita* Martius**

#### **a. Clasificación taxonómica**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Sterculiaceae

Género: *Guazuma*

Especie: *G. crinita*

#### **b. Descripción botánica**

El árbol de esta especie alcanza un dap de 25 cm a 80 cm y una altura total de 15 m a 30 m. Su fuste es cilíndrico, de base recta y con ramificación a partir del tercer tercio de altura. Su corteza externa es lisa a finamente agrietada, de color marrón claro a grisáceo. En campo la especie se reconoce por su fuste cilíndrico y esbelto, su ramificación a partir del tercer tercio de altura y sus hojas aserradas y palminervadas (Reynel *et al.* 2003).

### **c. Nombres comunes**

“Bolaina”, “Bolaina blanca” (Reynel *et al.* 2003).

### **d. Hábitat**

La especie se distribuye ampliamente en el Neotrópico, desde Centroamérica a la región Amazónica. Se encuentra en sitios localizados hasta los 1 500 msnm. En la Amazonía peruana es muy abundante. La especie es heliófita y característica de la vegetación secundaria temprana (Reynel *et al.* 2003).

### **e. Requerimientos ambientales y edáficos**

La especie se desarrolla en localidades con elevada y constante pluviosidad, pero también en zonas con una estación seca marcada. Crece en suelos limosos a arenosos, muchas veces de escasa fertilidad y pedregosos. No tolera el anegamiento, sobre todo cuando está en fase de plántula (Reynel *et al.* 2003).

### **f. Plantación**

Reynel *et al.* (2003) indican que en plantaciones forestales en Chanchamayo (departamento de Junín) árboles de la especie alcanzaron de 25 cm a 30 cm de diámetro y 12 m a 15 m de altura en 5 años. Asimismo, estos autores mencionan que Sotelo *et al.* reportaron crecimientos en altura de 2,0 m a 2,3 m a los seis meses y de 4,9 m a 5,7 m al año de edad.

### **g. Usos**

Reynel *et al.* (2003) señalan que la madera de la especie tiene alta durabilidad. Se usa en carpintería, elaboración de utensilios pequeños (paletas de chupetes, palos de fósforo y artesanía) y en tableros contrachapados.

## 2.4.5 *Pinus tecunumanii* Eguluz y Perry

### a. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Pinophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *P. tecunumanii*

### b. Descripción botánica

El árbol de esta especie puede alcanzar un diámetro de 50 cm a 120 cm y una altura de 40 m a 55 m. Su fuste recto y se ramifica hasta un 40 a 60 por ciento de su altura. Su copa es de forma piramidal y rala (Salazar *et al.* 2000).

### c. Nombres comunes

“Pino ocote” en México y Guatemala y “Pinabete” en Honduras (Salazar *et al.* 2000). “Pino de sierra” (Valdez 2005).

### d. Hábitat

La especie ocurre naturalmente en las zonas montañosas de los estados de Oaxaca y Chiapas, en el sur de México, en las montañas centrales de Guatemala, el norte de El Salvador, sudeste de Honduras y el noreste de Nicaragua. Su distribución altitudinal varía de 1 500 msnm a 2 600 msnm (Salazar *et al.* 2000). Actualmente se instalan plantaciones forestales de *P. tecunumanii* en zonas tropicales y subtropicales (Dvorak *et al.* 2001).

### e. Requerimientos ambientales y edáficos

Se desarrolla en zonas con precipitaciones de 1 800 mm a 2 400 mm, temperaturas de 12°C a 22°C y una humedad relativa aproximada de 80 por ciento. Puede crecer en una variedad de

suelos, desde suelos arcillosos hasta ligeramente ácidos (Salazar *et al.* 2000). *P. tecunumanii* no es resistente al frío y sufre grandes daños por fuertes heladas (Dvorak *et al.* 2001).

#### **f. Plantación**

Para *P. tecunumanii* no mejorado genéticamente se han reportado productividades de 14 m<sup>3</sup>/ha/año en Venezuela y Brasil, 15 m<sup>3</sup>/ha/año en Sudáfrica, y 25 m<sup>3</sup>/ha/año en Colombia; con mediciones realizadas a los 8 años de edad (Dvorak *et al.* 2001).

#### **g. Usos**

La madera de la especie se usa para la producción de postes para transmisión eléctrica, muebles, ventanas, puertas, artesanías, contrachapados y artículos torneados (Salazar *et al.* 2000).

### **2.4.6 *Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page**

#### **a. Clasificación taxonómica**

Reino: Plantae

División: Pinophyta

Clase: Pinophyta

Orden: Podocarpaceae

Familia: Podocarpaceae

Género: *Retrophyllum*

Especie: *R. rospigliosii*

#### **b. Descripción botánica**

El árbol de la especie alcanza un dap de 50 cm a 180 cm y una altura de 30 m a 45 m. Posee un fuste recto y cilíndrico. En campo puede ser reconocido por su fuste y la corteza que se desprende en placas escamosas. También por sus hojas pequeñas y rígidas (Reynel y Marcelo 2009).



### **c. Nombres comunes**

“Ulcumano”, “Romerillo macho” (Reynel y Marcelo 2009).

### **d. Hábitat**

La especie se encuentra en Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Venezuela y Perú. En territorio peruano se encuentra en la sierra de los departamentos de Piura, Cajamarca, Pasco y Junín; entre los 1 500 msnm a 4 000 msnm. Cabe resaltar que la especie se encuentra en situación de peligro porque su madera de alta calidad (Reynel y Marcelo 2009).

### **e. Requerimientos ambientales y edáficos**

Cueva *et al.* (2013) indican que la especie crece en lugares con una precipitación promedio anual de 1 500 msnm a 2 500 msnm. Asimismo, se desarrolla en suelos ácidos con un pH de cuatro a cinco, profundos, con drenaje bueno a moderado y de textura arcillosa a arcillo arenoso.

### **f. Plantación**

UEIA (2020) señala que la especie tiene una tasa de crecimiento de lenta a media. Asimismo, indica que se usa comúnmente en restauración ecológica como cerco vivo y para recuperación de áreas erosionadas.

Palomino y Barra (2003) reportan para plantaciones de la especie en fajas de enriquecimiento en bosque primario de 17 años de edad un incremento anual de 1,3 cm/año, y para sistemas agroforestales un incremento anual de 1,3 cm/año.

### **g. Usos**

Señalan que la madera de esta especie es de muy buena calidad, de densidad media, trabajable y durable. Además, señalan que se usa en carpintería y ebanistería, construcción y en la fabricación de mangos para herramientas (Reynel y Marcelo 2009).

## 2.4.7 *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke

### a. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Schizolobium*

Especie: *S. amazonicum*

### b. Descripción botánica

El árbol de esta especie alcanza un dap de 30 cm a 70 cm y una altura total de 18 m a 25 m. Su fuste es cilíndrico, con una ramificación que empieza en el tercer tercio. En campo se reconoce porque su corteza externa se desprende en pequeñas placas rectangulares a cuadrangulares. Asimismo, sus hojas bipinnadas con foliolulos oblongos poseen un diminuto mucrón (Reynel *et al.* 2003).

### c. Nombres comunes

“Pino chuncho”, “Pashaco” (Reynel *et al.* 2003).

### d. Hábitat

La especie se distribuye naturalmente en la región Amazónica, en zonas debajo los 1 200 msnm. La especie es de tendencia heliófita, de crecimiento rápido y está presente en bosques secundarios tempranos y tardíos. En el caso de bosques primarios se encuentra presente en claros (Reynel *et al.* 2003).

#### **e. Requerimientos ambientales y edáficos**

La especie crece en lugares con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con estación seca marcada. Prefiere suelos de arenosos a limosos, de fertilidad media a alta, de buen drenaje y de pedregosidad baja a media (Reynel *et al.* 2003).

#### **f. Plantación**

Reynel *et al.* (2003) reportan que plantaciones forestales instaladas en suelos aluviales en Chanchamayo (departamento de Junín) alcanza un dap de 30 cm y una altura total de 15 m en 5 años.

#### **g. Usos**

La madera de esta especie se emplea para cajonería, carpintería y leña. En Ecuador se usa en la industria del laminado (Reynel *et al.* 2003).

### **2.4.8 *Simarouba amara* Aublet**

#### **a. Clasificación taxonómica**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Simaroubaceae

Género: *Simarouba*

Especie: *S. amara*

#### **b. Descripción botánica**

El árbol de la especie alcanza un dap de 50 cm a 100 cm y una altura de 25 m a 35 m. Su fuste es cilíndrico, recto y se ramifica desde el segundo tercio. Se reconoce en campo por sus folíolos oblongos, enteros y con ápice a menudo emarginado (Reynel *et al.* 2003).

### c. Nombres comunes

“Marupá”, “Cedro blanco” (Reynel *et al.* 2003).

### d. Hábitat

La especie se desarrolla naturalmente en la región Amazónica, en sitios debajo de los 700 msnm. Es de tendencia esciófita y está presente en bosques secundarios tardíos y bosques primarios (Reynel *et al.* 2003).

### e. Requerimientos ambientales y edáficos

La especie se desarrolla en sitios con pluviosidad elevada y constante, y suelos arcillosos, ácidos, fértiles, bien drenados y con baja pedregosidad (Reynel *et al.* 2003).

### f. Plantación

Vásquez (2014) en su estudio sobre producción de oxígeno en plantaciones forestales en Puerto Almendra (Loreto, Perú) reportó los siguientes valores de crecimiento (Tabla 6).

**Tabla 6: Crecimiento de plantaciones de *Simarouba amara* a diferentes edades**

Edad de la plantación (año)	dap promedio (cm)	Altura promedio (m)
6	13,53	11,84
17	16,74	15,72
27	32,17	25,14
34	34,37	22,19
43	33,54	23,71

Fuente: Vásquez (2014)

#### **g. Usos**

La madera de la especie es apta para la carpintería y ebanistería (Reynel *et al.* 2003). Lao y Flores (1972) , citados por Vargas *et al.* (2015), reportan como usos las chapas para triplay, cajas, muebles, construcciones livianas, pulpa y papel, industrias musicales, palillos de dientes y fósforo.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las plantaciones forestales de las ocho especies estudiadas se ubican en la región Amazónica del Perú, en los departamentos de Huánuco, Junín, Loreto, Pasco, San Martín y Ucayali (Anexo 1). Se distribuyen en un rango altitudinal que va de 140 msnm a 2 124 msnm. Se encuentran en las siguientes zonas de vida: bosque pluvial Tropical (bp-T), bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical (bmh-MBT), bosque muy húmedo – Premontano Tropical (bmh-PT), bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT), bosque húmedo Premontano Tropical (bh-PT), bosque húmedo Tropical (bh-T) y bosque seco Tropical (bs-T).

Para *C. spruceanum* se instalaron cuatro parcelas (Tabla 7). Las tres primeras parcelas se establecieron en plantaciones puras de la Estación Experimental Agraria El Porvenir del INIA, ubicada en el distrito La Banda de Shilcayo, provincia de San Martín (departamento de San Martín). La cuarta parcela se instaló en el sistema agroforestal de un productor agrario del distrito de Rumisapa, provincia de Lamas (departamento de San Martín).

**Tabla 7: Datos de las parcelas de *Calycophyllum spruceanum***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	San Martín	San Martín	La Banda de Shilcayo	353447	9285287	710	Plantación pura
2	San Martín	San Martín	La Banda de Shilcayo	353446	9285271	707	Plantación pura
3	San Martín	San Martín	La Banda de Shilcayo	353441	9285227	699	Plantación pura
4	San Martín	Lamas	Rumisapa	339374	9290975	813	Agroforestal

Para *C. cateniformis* se instalaron cuatro parcelas (Tabla 8). La primera se instaló en una plantación pura del Anexo Experimental Alexander von Humboldt del INIA en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad (departamento de Ucayali). La segunda parcela se instaló en una plantación pura del Campo Experimental El Dorado del INIA, ubicada en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas (departamento de Loreto). La tercera parcela se instaló en una plantación pura del Anexo Experimental San Ramón de la Estación Experimental Agraria El Porvenir del INIA, ubicada en el distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas (departamento de Loreto). La cuarta parcela se instaló en un sistema agroforestal de un productor agrario del distrito de Mazamari, provincia de Satipo (departamento de Junín).

**Tabla 8: Datos de las parcelas de *Cedrelinga cateniformis***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	Ucayali	Padre Abad	Irazola	494019	9023690	233	Plantación pura
2	Loreto	Maynas	San Juan Bautista	676090	9562946	140	Plantación pura
3	Loreto	Alto Amazonas	Yurimaguas	375235	9343545	152	Plantación pura
4	Junín	Satipo	Mazamari	549827	8743012	905	Agroforestal

Para *D. ferrea* se instalaron cinco parcelas (Tabla 9). Las tres primeras se instalaron en plantaciones puras del Anexo Experimental Alexander von Humboldt del INIA en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo (departamento de Ucayali). La cuarta parcela se instaló en el sistema agroforestal con cacao (*Theobroma cacao*) de un productor agrario del distrito de Campo Verde, provincia de Coronel Portillo (departamento de Ucayali). La quinta parcela se instaló en una plantación pura ubicada en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad (departamento de Ucayali).

**Tabla 9: Datos de las parcelas de *Dipteryx ferrea***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	Ucayali	Coronel Portillo	Callería	548597	9072505	177	Plantación pura
2	Ucayali	Coronel Portillo	Callería	548574	9072538	156	Plantación pura
3	Ucayali	Coronel Portillo	Callería	548656	9072513	174	Plantación pura
4	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	516727	9062386	201	Agroforestal
5	Ucayali	Padre Abad	Irazola	494013	9023798	233	Plantación pura

Para *G. crinita* se instalaron cuatro parcelas (Tabla 10). Las tres primeras parcelas se instalaron en plantaciones puras de la Empresa Reforestadora Latinoamericana S.A. en Palcazu, provincia de Oxapampa (departamento de Pasco). La cuarta parcela se instaló en un sistema agroforestal con cacao (*T. cacao*) en el predio de un productor agrario del distrito Irazola, provincia de Padre Abad (departamento de Ucayali).

**Tabla 10: Datos de las parcelas de *Guazuma Crinita***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	Pasco	Oxapampa	Palcazu	459470	8898976	332	Plantación pura
2	Pasco	Oxapampa	Palcazu	459526	8899083	331	Plantación pura
3	Pasco	Oxapampa	Palcazu	458601	8898429	349	Plantación pura
4	Ucayali	Padre Abad	Irazola	479352	9022132	259	Agroforestal

Para *P. tecunumanii* se instalaron cinco parcelas (Tabla 11). Las tres primeras se instalaron en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) en Villa Rica, provincia de Oxapampa (departamento de Pasco). La cuarta parcela se instaló en una plantación pura de un productor agrario del distrito de Huancabamba, provincia de Oxapampa (departamento de Pasco). La



quinta parcela se instaló en una plantación pura de un productor agrario del distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa (departamento de Pasco).

**Tabla 11: Datos de las parcelas de *Pinus tecunumanii***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	470489	8814064	1491	Agroforestal
2	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	471845	8816439	1689	Agroforestal
3	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	470761	8808492	1617	Agroforestal
4	Pasco	Oxapampa	Huancabamba	436940	8846566	1729	Plantación pura
5	Pasco	Oxapampa	Chontabamba	447837	8827864	2029	Plantación pura

Para *R. rospigliosii* se instalaron cuatro parcelas (Tabla 12). Dos parcelas se instalaron en predios de productores agrarios del distrito de Huancabamba, provincia de Oxapampa (departamento de Junín): la primera en una faja de enriquecimiento y la segunda en un sistema silvopastoril. La tercera parcela se instaló en un sistema agroforestal con café (*C. arabica*) de un productor agrario del distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa (departamento de Pasco). La última parcela se instaló en una plantación pura de la Empresa Vivero Los Inkas S.A. en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo (departamento de Junín).

**Tabla 12: Datos de las parcelas de *Retrophyllum rospigliosii***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	Pasco	Oxapampa	Huancabamba	452873	8841294	2112	Faja de enriquecimiento
2	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	469473	8814236	1783	Agroforestal
3	Pasco	Oxapampa	Huancabamba	452335	8843520	2124	Agroforestal
4	Junín	Chanchamayo	San Ramón	458042	8769731	941	Plantación pura

Para *S. amazonicum* se instalaron cuatro parcelas en sistemas agroforestales con cacao (*T. cacao*), en predios de productores agrarios locales (Tabla 13). En la provincia de Lamas (San Martín) se instalaron tres parcelas: dos en el distrito de Zapatero y una en el distrito de Lamas. En el distrito de San José de Sisa, provincia de El Dorado (departamento de San Martín) se instaló una parcela.

**Tabla 13: Datos de las parcelas de *Schizolobium amazonicum***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	San Martín	Lamas	Zapatero	329775	9271884	787	Agroforestal
2	San Martín	El Dorado	San José de Sisa	318119	9266961	493	Agroforestal
3	San Martín	Lamas	Lamas	334712	9288111	559	Agroforestal
4	San Martín	Lamas	Zapatero	329775	9271900	790	Agroforestal

Para *S. amara* se instalaron cinco parcelas (Tabla 14). Cuatro parcelas se instalaron en plantaciones mixtas de la Empresa Bosques Amazónicos S.A.C. en el distrito de Campo Verde, provincia de Coronel Portillo (departamento de Ucayali). En estas plantaciones *S. amara* se asoció a *Dipteryx sp.* (“Shihuahuaco”) y *Swietenia macrophylla* (“Caoba”). Una parcela se instaló en una plantación pura de la Empresa Reforestadora Latinoamericana S.A. en el distrito de Codo de Pozuzo, provincia de Puerto Inca (departamento de Huánuco).

**Tabla 14: Datos de las parcelas de *Simarouba amara***

N°	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	Altitud (msnm)	Tipo de plantación
1	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	525794	9050584	192	Plantación mixta
2	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	525883	9050339	195	Plantación mixta
3	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	523307	9050619	183	Plantación mixta
4	Huánuco	Puerto Inca	Codo de Pozuzo	464779	8911705	297	Plantación pura
5	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	523304	9050626	182	Plantación mixta

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS DE LAS PLANTACIONES EVALUADAS EN EL PROYECTO INNOVACIÓN EN EL USO DE MADERAS FASE 2 Y 3

Esta investigación analizó datos colectados mediante la evaluación de parcelas temporales en las plantaciones forestales de las ocho especies en estudio; instaladas dentro del marco del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fase 2 y 3*. El proceso de evaluación inició en 2016 y concluyó el 2022 y estuvo a cargo de los miembros del proyecto.

Se instaló una parcela por plantación (Tabla 15). La superficie de parcela fue variable. Las parcelas de menor superficie tuvieron 226,9 m<sup>2</sup> y 275,0 m<sup>2</sup> y se instalaron en plantaciones de *D. ferrea*. Se evaluaron 16 plantaciones con parcelas de 400 m<sup>2</sup>. *G. crinita* y *S. amara* se evaluaron con parcelas de esta superficie. Las parcelas de mayor superficie tuvieron 12 800 m<sup>2</sup> y 13 300 m<sup>2</sup> y se instalaron en plantaciones de *R. rospigliosii*.

El número de árboles evaluados por parcela también fue variable (Tabla 15). El menor número de árboles por parcela fue nueve (instalada en una plantación pura de *G. crinita*, con una superficie de 400 m<sup>2</sup>). El mayor número de árboles por parcela fue 174 (en una plantación pura de *C. cateniformis*, con una superficie de 4853.4 m<sup>2</sup>).

La edad de plantación fue diferente en todas las especies (Tabla 15). La plantación de menor edad tenía 7 años en el momento de la evaluación. La plantación de mayor edad tenía 35 años.

**Tabla 15: Información de las parcelas instaladas**

Nombre científico	Nombre común	Número de parcela	Superficie de la parcela (m <sup>2</sup> )	Número de árboles evaluados	Edad (año)
<i>Guazuma crinita</i>	Bolaina	1	400.0	13	11
		2	400.0	15	11
		3	400.0	9	11
		4	400.0	21	8
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pino chuncho	1	400.0	10	7
		2	2700.0	14	7
		3	400.0	13	7
		4	400.0	12	11

<< Continuación >>

		1	400.0	19	9
		2	400.0	17	9
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	3	400.0	17	9
		4	400.0	30	11
		5	400.0	20	11
		1	12800.0	154	35
		2	13300.0	97	35
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	Ulcumano	3	12700.0	149	35
		4	400.0	16	22
		1	2000.0	60	11
		2	2000.0	61	11
<i>Pinus tecunumanii</i>	Pino	3	2000.0	11	11
		4	400.0	26	30
		5	400.0	22	20
		1	1930.0	61	19
		2	1904.3	68	19
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Capirona	3	1962.5	79	19
		4	400.0	10	11
		1	8684.0	16	17
		2	4853.4	174	15
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Tornillo	3	2824.9	41	35
		4	400	17	30
		1	226.9	21	23
		2	470.6	30	23
<i>Dipteryx ferrea</i>	Shihuahuaaco	3	275.0	18	23
		4	2061.0	100	18
		5	600.7	17	15

La instalación y evaluación de las parcelas se realizó en base a la propuesta metodológica del proyecto *Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3: Construcción de tablas con indicadores de crecimiento, productividad y propiedades tecnológicas mediante pruebas no destructivas en relación a la edad de plantaciones forestales en ocho especies de valor económico*; que fue adaptada de la metodología de Ugalde (2000) y Cuellar y Salazar (2016). En la instalación y evaluación de las parcelas se empleó la tecnología *Field-Map* (Anexo 2).

De la parcela se registró información general: departamento, provincia y distrito de ubicación, propietario, edad y responsable de la evaluación.

De cada árbol evaluado se registró: número de árbol, especie, ubicación UTM, altitud (msnm), dap (cm), altura comercial (m), altura total (m), superficie de copa (m<sup>2</sup>), proyección de copa (m<sup>2</sup>), volumen de copa (m<sup>3</sup>), radio de copa (m), tipo de fuste, inclinación de fuste, número de ramas, grosor de ramas, ángulo de inserción de ramas y observaciones.

La data colectada se almacenó en el *software* del *Field-Map*, programado previamente a la evaluación de las parcelas. Luego del trabajo en campo los datos se descargaron en Hojas de Cálculo de *Microsoft Excel*.

Por último, del centro de la parcela y a una profundidad de 30 cm se tomó una muestra de suelo de 1 kg (metodología adaptada de Cuéllar y Salazar (2016) y Angulo *et al.* (2016)); que se caracterizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

Cabe indicar que para aquellas plantaciones donde no se pudo tomar la muestra de suelo, los valores de pH y textura se obtuvieron de la Base de Datos Armonizada de los Suelos del Mundo Versión 1.2 (FAO *et al.* 2009).

### **3.3 EQUIPOS, SOFTWARES, MATERIALES Y DATOS**

#### **3.3.1 Equipos**

- 01 Laptop Toshiba C650-SP4166M Procesador Core i3-380M Memoria RAM 2 GB
- 01 Impresora Multifuncional HP Ink Tank 415.

#### **3.3.2 Softwares**

- *Software* R y R Studio Versión 3.6.2
- *Software* Past Versión 4.08
- Microsoft Excel 2016

- Microsoft Word 2016
- HWSD Versión 1.2

### **3.3.3 Materiales**

- Papel bond A4
- Lápiz 2B
- Goma de borrar
- Tajador de lápiz
- Otros útiles de escritorio

### **3.3.4 Datos**

De la base de datos de las 35 plantaciones evaluadas, se consideraron para el análisis del comportamiento silvicultural: dap (cm), altura comercial (m), altura total (m), proyección de copa (m<sup>2</sup>) y edad de la plantación (año). De la caracterización del suelo se consideró el pH y la textura.

## **3.4 METODOLOGÍA**

### **3.4.1 Organización de la base datos**

Los valores de dap, altura comercial, altura total y proyección de copa de cada árbol se ordenaron por especie y parcela en una Hoja de cálculo de *Microsoft Excel*. Luego, se añadieron los valores de pH y textura del suelo de cada parcela.

### **3.4.2 Cálculo de los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal**

Para crecimiento se evaluaron cuatro indicadores:

- a. Diámetro a la altura de pecho (dap) promedio; expresado en centímetros (cm).
- b. Altura comercial ( $h_c$ ) promedio; expresado en metros (m).

- c. Área basal ( $g$ ) promedio; expresado de metros cuadrados ( $m^2$ ). Para el cálculo del área basal se usó la siguiente fórmula (Klepac 1983):

$$g = \frac{\pi}{4} \times dap^2$$

Donde:

$g$  = Área basal ( $m^2$ )

$dap$  = Diámetro a la altura de pecho del árbol convertido a metros (m)

- d. Volumen comercial ( $V_c$ ) promedio; expresado en metros cúbicos ( $m^3$ ). Para el cálculo del volumen comercial de cada árbol se usó la siguiente fórmula:

$$V_c = g \times h_c \times f$$

Donde:

$V_c$  = Volumen comercial del árbol ( $m^3$ )

$g$  = Área basal ( $m^2$ )

$h_c$  = Altura comercial del árbol (m)

$f$  = 0,65 (SERFOR 2019)

Los indicadores de crecimiento se expresaron en promedio por parcela.

Para productividad se evaluaron cuatro indicadores:

- a. Incremento Medio Anual en  $dap$  (IMA  $dap$ ); expresado en centímetros por año (cm/año) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IMA \text{ } dap = \frac{\overline{dap}}{t}$$

Donde:

IMA  $dap$  = Incremento medio anual en diámetro a la altura de pecho (cm/año)

$\overline{dap}$  = Diámetro a la altura de pecho promedio (cm)

$t$  = Edad de plantación (año)

- b. Incremento Medio Anual en altura comercial (IMA  $h_c$ ); expresado en metros por año (m/año) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IMA h_c = \frac{\overline{h_c}}{t}$$

Donde:

IMA  $h_c$  = Incremento medio anual en altura comercial (m/año)

$\overline{h_c}$  = Altura comercial promedio (m)

t = Edad de plantación (año)

- c. Incremento Medio Anual en área basal (IMA G); expresado en metros cuadrados por hectárea año ( $m^2/ha/año$ ) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IMA G = \frac{G}{t}$$

Donde:

IMA G = Incremento medio anual en área basal ( $m^2/ha/año$ )

G = Área basal llevado a la hectárea ( $m^2/ha$ )

t = Edad de plantación (año)

- d. Incremento Medio Anual en volumen comercial (IMA  $V_c$ ); expresado en metros cúbicos por hectárea año ( $m^3/ha/año$ ) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IMA V_c = \frac{V}{t}$$

Donde:

IMA  $V_c$  = Incremento medio anual en volumen comercial ( $m^3/ha/año$ )

V = Volumen comercial llevado a la hectárea ( $m^3/ha$ )

t = Edad de plantación (año)



Para espesura de masa forestal se evaluaron cuatro indicadores:

- a. Densidad (D); expresado en árboles por hectárea (árboles/ha) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{10\,000 \times A}{S}$$

Donde:

D = Densidad (árboles/ha)

A = Número de árboles en la parcela

S = Superficie de la parcela (en m<sup>2</sup>)

- b. Área basal de la masa forestal (G); expresado en metros cuadrados por hectárea (m<sup>2</sup>/ha) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$G = \frac{10\,000 \times g}{S}$$

Donde:

G = Área basal por hectárea (m<sup>2</sup>/ha).

g = Suma de todas las secciones normales de los árboles evaluados (m<sup>2</sup>)

S = Superficie evaluada (en m<sup>2</sup>)

- c. Fracción de cabida cubierta (FCC); expresada en porcentaje (por ciento) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$FCC = \frac{\sum S_{copa}}{S} \times 100$$

Donde:

FCC: Fracción de cabida cubierta (expresado en porcentaje)

$\sum S_{copa}$ : Sumatoria de la superficie de la proyección ortogonal de las copas de los árboles de la parcela (m<sup>2</sup>)

S: superficie de la parcela (m<sup>2</sup>)

- d. Índice de Hart-Becking (RS); expresada en por porcentaje (por ciento) y calculado mediante la siguiente fórmula:

$$RS_H = \frac{\sqrt{\frac{20\,000}{N\sqrt{3}}}}{H} \times 100$$

Donde:

$RS_H$  = Índice de Hart-Becking (expresado en porcentaje)

N = Número de árboles por hectárea (árboles/ha)

H = Altura total promedio de los árboles registrados en la parcela de evaluación (m)

Todos los indicadores se calcularon usando con *Microsoft Excel*.

### **3.4.3 Clasificación del pH y la textura del suelo**

Para relacionar los resultados de los indicadores de crecimiento y productividad con las condiciones de suelo, el pH y la textura se clasificaron de acuerdo a la Clasificación de Scheffer y Schachtschabel (Tabla 5) y la clasificación de textura de Conti (Tabla 4), respectivamente.

### **3.4.4 Análisis estadístico de los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal**

Se realizó un análisis estadístico descriptivo:

- Para evaluar el promedio y variabilidad de los indicadores de crecimiento se emplearon diagramas de cajas, que se elaboraron con la herramienta *Boxplot* de R Studio.
- Para determinar si los promedios de los indicadores de crecimiento fueron iguales o no se empleó la prueba *t* de Student. Para ejecución de esta prueba se utilizó la herramienta fórmulas de *Microsoft Excel* 2016.

- Para representar los promedios de los indicadores de crecimiento, y los resultados de productividad y espesura de masa forestal se emplearon gráficas de barras, que se elaboraron con la herramienta *plot* del *software* Past.
- Para analizar la correlación en los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal y comparar sus resultados gráficamente se empleó el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés). Se empleó los paquetes *ggplot2*, *Factoextra* y *FactoMiner* de R Studio.

Para el análisis estadístico de los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal se empleó los *softwares* R versión 4.1.2, R Studio versión 2021.09.2 y Past versión 4.08.

### **3.4.5 Análisis de resultados**

Los resultados de los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal se compararon de manera descriptiva a nivel de especie; primero entre parcelas y luego con datos reportados en otras investigaciones. Posteriormente, se compararon los resultados de crecimiento y productividad en base a la edad de la plantación y el pH y textura del suelo.

Finalmente, se elaboró una tabla de indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal, donde se muestran los resultados de los indicadores estudiados relacionados a la edad de plantación y el pH y textura del suelo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 *CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM* (BENTHAM) HOOKER F. EX SCHUMANN – “CAPIRONA”

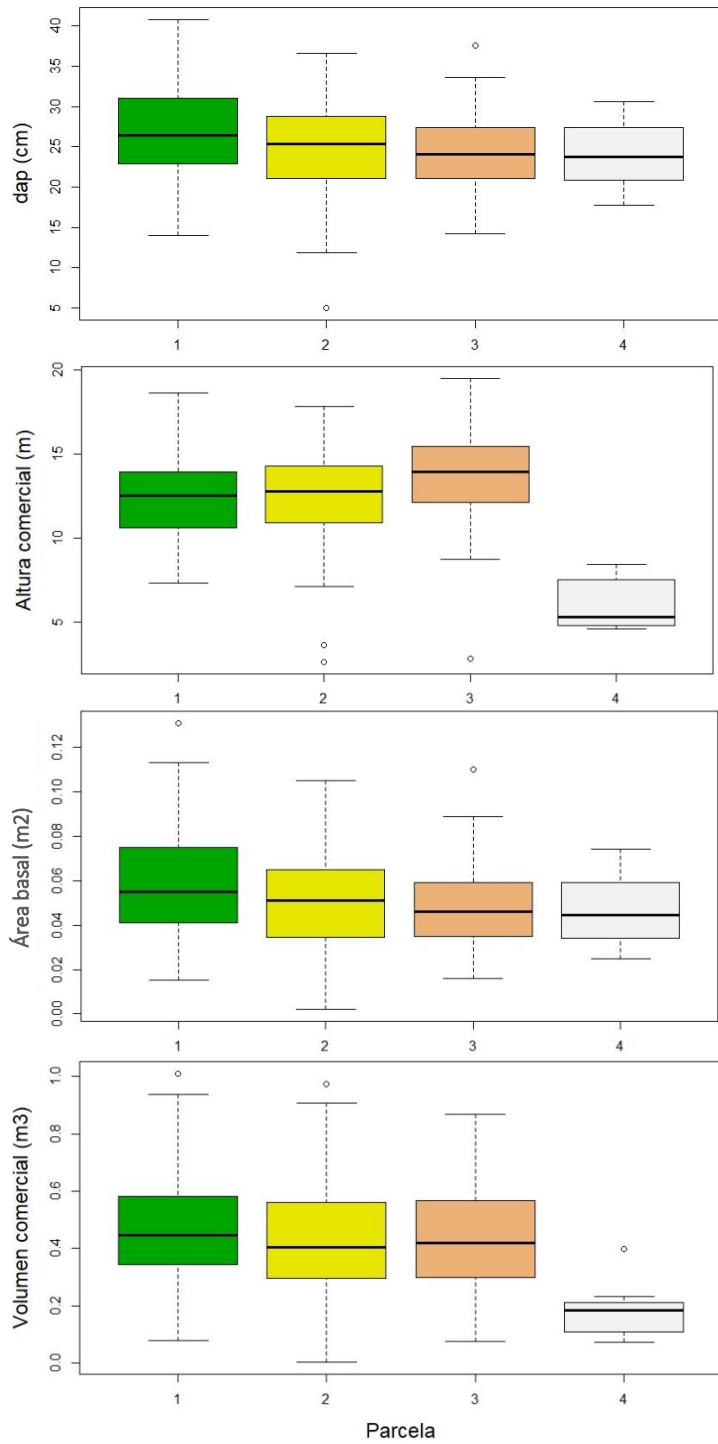
#### 4.1.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Calycophyllum spruceanum*

La Figura 1 muestra los diagramas de cajas de los indicadores de crecimiento para las cuatro parcelas de *C. spruceanum* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*.

En general, se pudo observar que las tres primeras plantaciones presentaron crecimientos similares. La cuarta plantación presentó resultados menores a las tres primeras. Este resultado responde a la edad de plantación. Las tres primeras plantaciones tenían 19 años en el momento de la evaluación mientras que la cuarta plantación tenía 11 años.

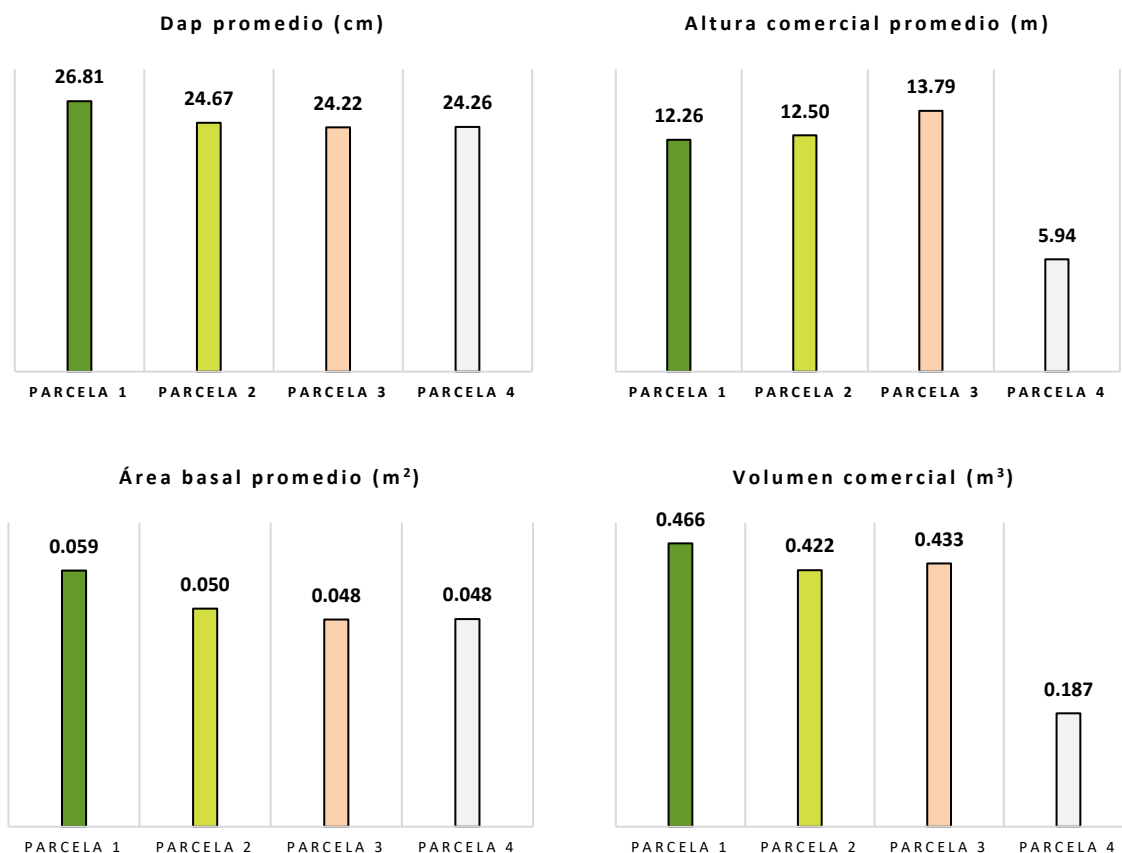
A nivel de indicador de crecimiento se observó que las cuatro parcelas presentaron resultados similares en dap y área basal. Para altura comercial y volumen comercial, la parcela 4 presentó valores menores a las otras tres parcelas; que tuvieron valores similares entre ellas.

El escaso número de datos atípicos y la reducida dispersión de los datos mostró que las plantaciones de *C. spruceanum* presentaron individuos con crecimientos similares y uniformes.



**Figura 1: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Calycophyllum spruceanum***

La Figura 2 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *C. spruceanum* evaluadas.



**Figura 2: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Calycophyllum spruceanum***

La gráfica del dap promedio mostró que las parcelas 2, 3 y 4 presentaron resultados similares y menores a la parcela 1. Mediante la prueba *t* de Student se corroboró este resultado (Tabla 16), observándose que no existió diferencia significativa entre los dap de las parcelas 2,3 y 4.

Cabe resaltar que la parcela 4 tenía menor edad; sin embargo, obtuvo un crecimiento en dap similar a las otras parcelas. Este resultado está relacionado al tipo de plantación de la parcela 4: un sistema agroforestal. Beer *et al.* (1995) evaluaron el crecimiento de *Acacia mangium* Wild y *Cordia alliodora* Oken instaladas en sistemas agroforestales y determinaron que el crecimiento

diamétrico de ambas especies a los 5 años de instaladas fue estadísticamente superior al de plantaciones puras de la misma edad. Atribuyeron este resultado a la menor densidad de siembra y al aprovechamiento del manejo agronómico en sistemas agroforestales. En ese sentido, Klepac (1983) señala que, dentro de ciertos límites, el incremento en diámetro es mayor cuando el árbol cuenta con más espacio y más luz; que es el caso de árboles en sistemas agroforestales. Por otro lado, Basantes (2016) señala que espaciamientos demasiado densos afecta el incremento diamétrico.

En relación a la altura comercial, se observó que la parcela 3 obtuvo un promedio mayor que las parcelas 1 y 2. La parcela 4 obtuvo una altura promedio menor, aproximadamente la mitad de las otras tres parcelas. La prueba *t* de Student mostró que existió diferencias significativas entre los promedios de todas las parcelas; excepto entre la parcela 1 y 2 (Tabla 16). Además de la edad de plantación, el menor resultado de altura comercial de la parcela 4 se debió a la baja densidad de plantación en sistemas agroforestales. Klepac (1983) y Basantes (2016) señalan que a mayores densidades de siembra (como es el caso de plantaciones puras), los árboles crecen más rápido en altura respecto a masas menos densas (como es el caso de los sistemas agroforestales).

La poda natural resultaría otro factor que intervino en este resultado. Como la parcela 4 se instaló en un sistema agroforestal; es decir, a grandes distanciamientos, el proceso de poda natural se redujo, generando fustes comerciales de menor longitud (PROECEN 2002, Cuellar y Reyes 2016, INAB 2017).

El área basal presentó un comportamiento similar al dap. Las parcelas 2, 3 y 4 obtuvieron valores promedio de área basal estadísticamente similares. La parcela 1 obtuvo el mayor promedio, estadísticamente diferente a las otras parcelas (Tabla 16). Cabe señalar que el círculo de correlaciones del PCA mostró alta correlación entre el dap y el área basal (Figura 3).

Para el volumen comercial se observó que las parcelas 1, 2 y 3 obtuvieron promedios similares y mayores a la parcela 4. La prueba *t* de Student mostró que los promedios de las parcelas 1, 2 y 3 fueron estadísticamente similares; y que existió diferencia significativa entre el promedio de

la parcela 4 y las otras parcelas (Tabla 16). En este resultado influyó la altura comercial y la edad de plantación, que fueron menores en la parcela 4.

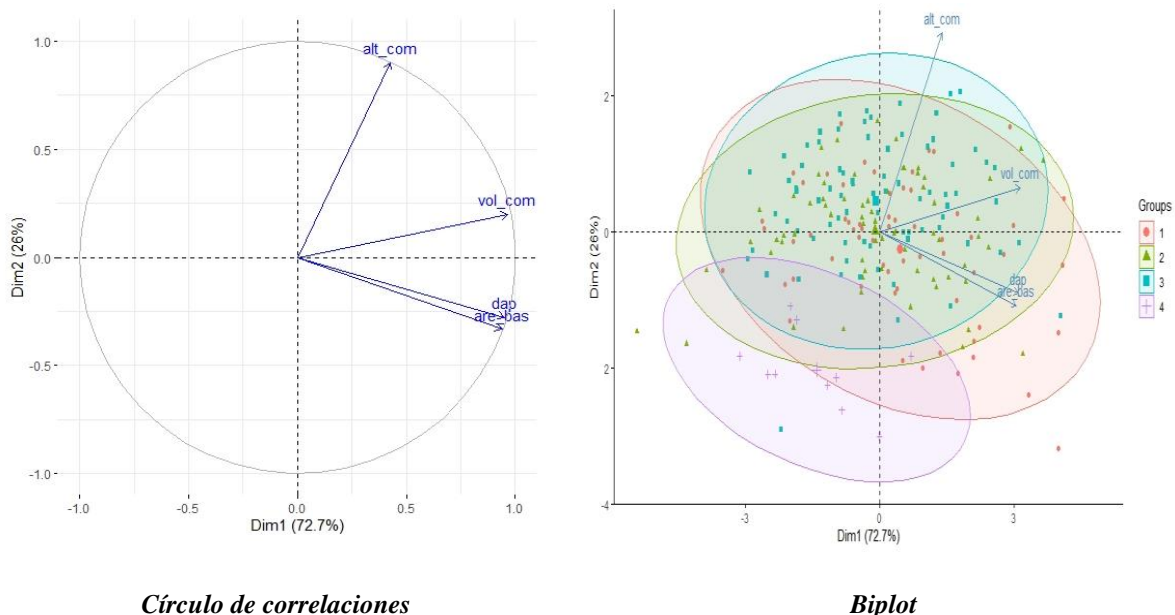
En general, los resultados de crecimiento de las plantaciones evaluadas aún son menores a las dimensiones que llegan a alcanzar los árboles de *C. spruceanum* en bosques naturales. OSINFOR (2021) señala que individuos de la especie en bosques naturales alcanzan un dap promedio de 0,7 m; una altura comercial promedio de 15 m y una sección normal promedio de 0,43 m<sup>2</sup>. Estos valores muestran el potencial de crecimiento de la especie.

**Tabla 16: Prueba *t* de Student para los indicadores de crecimiento de *Calycophyllum spruceanum***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor	*	p valor	*	p valor	*	p valor	*
1 - 2	0.035	*	0.612	n.s.	0.031	*	0.208	n.s.
1 - 3	0.004	*	0.001	*	0.002	*	0.351	n.s.
1 - 4	0.165	n.s.	0.000	*	0.150	n.s.	0.000	*
2 - 3	0.593	n.s.	0.006	*	0.413	n.s.	0.729	n.s.
2 - 4	0.827	n.s.	0.000	*	0.698	n.s.	0.000	*
3 - 4	0.979	n.s.	0.000	*	0.991	n.s.	0.000	*

El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 98,7 por ciento de la varianza de los datos (Figura 3). El círculo de correlaciones mostró que el dap, el área de sección normal y el volumen comercial estuvieron correlacionados. El biplot mostró una marcada diferencia entre el crecimiento de la parcela 4 y las parcelas 1, 2 y 3. Al analizar la Figura 3 se pudo observar que las elipses de las parcelas 1, 2 y 3 se encuentran superpuestas. Ello sugiere similitud entre las dimensiones de los árboles de estas tres parcelas. En cambio, la elipse de la parcela 4 se aleja de las demás. Ello que sugiere las mediciones de los árboles de esta parcela son diferentes a las otras parcelas.





**Figura 3: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento de *Calycophyllum spruceanum***

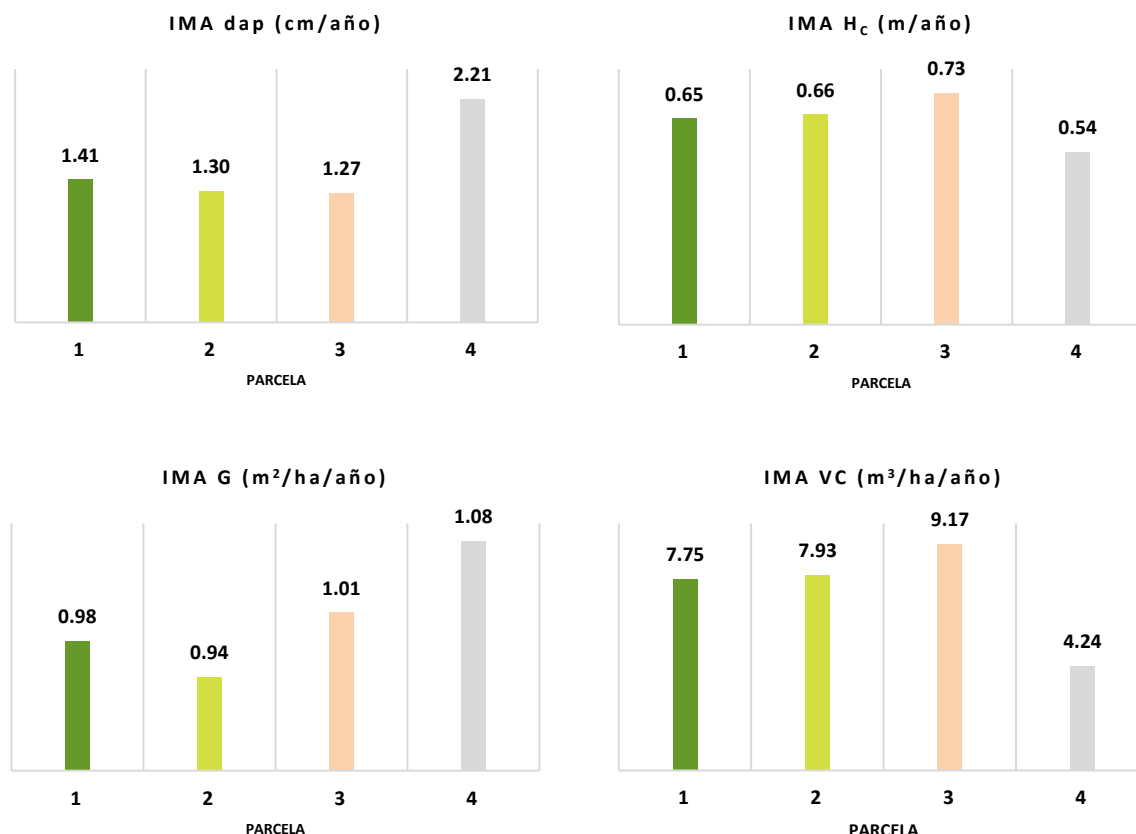
#### 4.1.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Calycophyllum spruceanum*

La Figura 4 muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las parcelas de *C. spruceanum*.

Para las parcelas 1, 2 y 3, establecidas en plantaciones puras de 19 años de edad, el IMA dap varió de 1,27 cm/año a 1,41 cm/año; estos valores resultaron menores a los reportados en otras investigaciones. Ugarte y Román (2020) evaluaron plantaciones de la especie en tres departamentos del Perú y determinaron un IMA dap que varió de 1,5 cm/año a 2,6 cm/año. Ugarte y Domínguez (2010), en un estudio sobre el índice de sitio de la especie en la cuenca del río Aguaytía, determinaron que para la parte alta de la cuenca -donde se presentaron los mayores crecimientos- la especie registró un IMA dap de 2,2 cm/año. Cuellar y Reyes (2016) señalan que la especie reporta una IMA dap de 2,9 cm/año en plantaciones en esta misma cuenca.

El estudio de Batista *et al.* (2020) sobre las propiedades físico-mecánicas de la madera de plantaciones de *C. spruceanum* en Rio Branco (Brasil) reportó un IMA dap de 1,48 cm/año.

Asimismo, Melo y Ferreira (2000) en una evaluación del comportamiento de la especie en plantaciones en el Estado de Acre (Brasil) registraron un IMA dap de 1,77 cm/año.



**Figura 4: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de *Calycophyllum spruceanum***

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 11 años de edad, obtuvo un IMA dap de 2,21 cm/año. Este resultado fue mayor al de las parcelas 1, 2 y 3; sin embargo, fue menor al IMA dap de 3,1 cm/año reportado por Palomino y Barra (2003) en su estudio de crecimiento en árboles de *C. spruceanum* instalados en un cerco vivo dentro de un sistema agroforestal.

El IMA h<sub>c</sub> para las parcelas 1, 2 y 3 varió de 0,65 m/año a 0,73 m/año (Figura 4). Se ha publicado resultados de IMA para la altura total. Ugarte y Domínguez (2010) reportaron un IMA en altura total de 2,3 m/año para la cuenca alta del río Aguaytía. Cuellar y Reyes (2016) señalan que la especie alcanza una IMA altura total de 2,7 m/año en plantaciones en esta misma cuenca. Por

otro lado, Melo y Ferreira (2000) registraron un IMA altura total de 1,56 m/año en plantaciones en el Estado de Acre (Brasil).

La parcela 4 obtuvo un IMA  $h_c$  de 0,54 m/año (Figura 4). Este valor es menor al obtenido por las parcelas 1, 2 y 3. También resultó menor al IMA  $h_c$  de 3.6 m/año reportado por Palomino y Barra (2003) para cercos vivos en sistemas agroforestales.

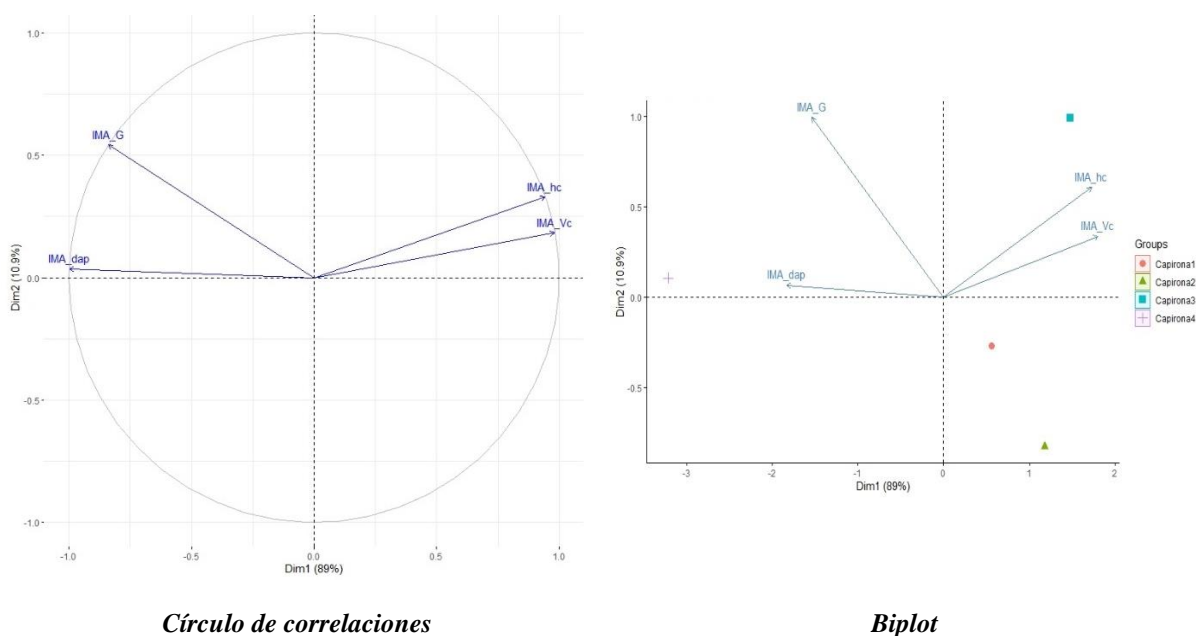
El IMA G de las parcelas 1, 2 y 3 varió de 0,94 m<sup>2</sup>/ha/año a 1,01 m<sup>2</sup>/ha/año. Ugarte y Domínguez (2010) determinaron un área basal de 8,95 m<sup>2</sup>/ha para plantaciones de la *C. spruceanum* de 64 meses de edad instaladas en la parte alta de la cuenca del río Aguaytía. Tomando como base esta información se calculó un IMA G de 1,68 m<sup>2</sup>/ha/año para estas plantaciones. Este valor resultó mayor al obtenido por las parcelas 1, 2 y 3. Cabe indicar que los estudios citados no presentaron información de densidad de las plantaciones investigadas. La parcela 4 presentó un IMA G de 1,08 m<sup>2</sup>/ha/año, superior a las otras parcelas. Ello se debió al incremento diamétrico de esta parcela, que fue notoriamente superior a la otras tres. Cabe indicar que, al haber sido instaladas en un sistema agroforestal, la parcela 4 presentó la menor densidad.

El IMA  $V_c$  de la parcela 3 fue de 9,17 m<sup>3</sup>/ha/año, resultado mayor a los 7,75 m<sup>3</sup>/ha/año y 7,93 m<sup>3</sup>/ha/año, obtenidos por las parcelas 1 y 2 respectivamente. Estos valores fueron menores a los reportados por Ugarte y Domínguez (2010) para plantaciones de *C. spruceanum* en la parte alta de la cuenca del Aguaytía (14,2 m<sup>3</sup>/ha/año). La parcela 4 presentó un IMA  $V_c$  de 4,24 m<sup>3</sup>/ha/año. En este resultado influyó la densidad de árboles del sistema agroforestal donde se instaló la parcela.

En general, los resultados de productividad de las plantaciones evaluadas fueron mayores a la productividad de capironales. Freitas *et al.* (2021) evaluaron capironales en el distrito de Belén, provincia de Maynas (departamento de Loreto). A partir de sus resultados se calculó un IMA G de 1,5 m<sup>2</sup>/ha/año y un IMA volumen total de 5,02 m<sup>3</sup>/ha/año para una densidad de 1 501 árboles por hectárea. Furtado (2013) estudió capironales en los en los municipios de Gurapá (Estado de Piauí) y Mazagão (Estado de Amapá) en Brasil; manejados mediante raleos periódicos. El mayor IMA dap que encontró fue 0,98 cm/año, con una densidad de 250 árboles por hectárea.

También estudió capironales manejados bajo sistemas agroforestales. Para este caso el mayor IMA dap que encontró fue 1,71 cm/año para una densidad de 125 árboles/ha. A partir de estas comparaciones se observó la mayor productividad de plantaciones forestales de la especie en comparación con capironales.

El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,9 por ciento de la varianza de los datos (Figura 5). El círculo de correlaciones mostró que, tanto el IMA dap e IMA G como el IMA hc e IMA Vc, estuvieron correlacionados. Asimismo, mostró que existió una correlación inversa entre el IMA dap e IMA G con el IMA hc e IMA Vc. El Biplot mostró que el comportamiento de los indicadores de productividad varió en función a la parcela. Así, la caracterización de parcela 4 estuvo representada por el IMA dap; debido a que tuvo un crecimiento diamétrico mayor que las otras parcelas. La caracterización de la parcela 3 estuvo representada por el IMA hc e IMA Vc. Esta parcela obtuvo la mayor altura comercial promedio en comparación a las parcelas 1 y 2, que tenían la misma edad de plantación. Finalmente, en la caracterización de las parcelas 1 y 2 la representatividad de los cuatro indicadores de productividad no se diferencia.



**Figura 5: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para *Calycophyllum spruceanum***

#### **4.1.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Calycophyllum spruceanum***

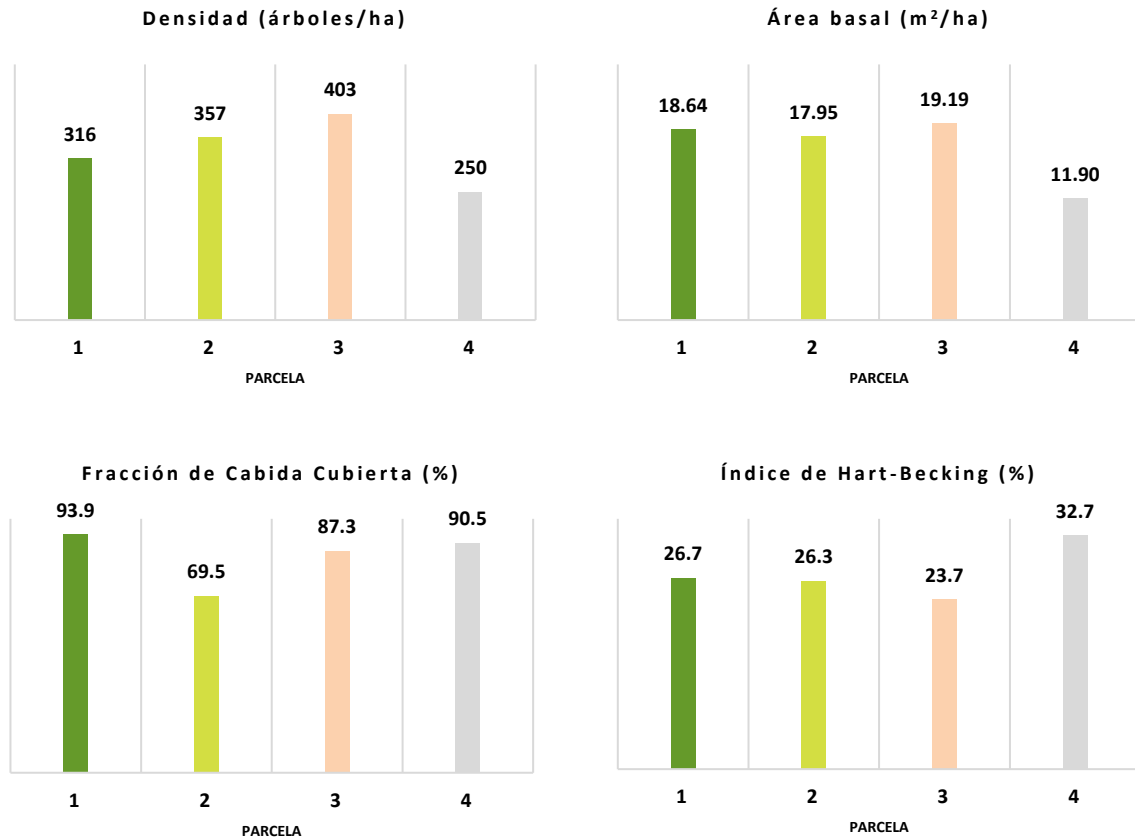
La Figura 6 muestra los resultados de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal evaluados en las parcelas de *C. spruceanum*.

Las parcelas 1, 2 y 3, instalada en plantaciones puras de 19 años de edad, obtuvieron un área basal que varió de 17,95 m<sup>2</sup>/ha a 19,19 m<sup>2</sup>/ha para densidades que variaron de 316 a 403 árboles por hectárea. Cabe resaltar que la parcela 2 tuvo menor área basal que la parcela 1 a pesar de tener mayor densidad de árboles; debido a que la parcela 1 tuvo un mayor dap promedio. La parcela 4 tuvo un área basal de 11,90 m<sup>2</sup>/ha para una densidad de 250 árboles por hectárea.

De acuerdo a la clasificación de espesura de masa arbórea en base al área basal propuesta por Gonzales (2011), las parcelas 1, 2 y 3 calificaron como de espesura normal; mientras que la parcela 4 calificó como de espesura clara.

De acuerdo a las categorías de Fracción de Cobertura Cubierta propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), las parcelas 1, 3 y 4 calificaron como arbolado cerrado. La parcela 2 calificó como arbolado semicerrado.

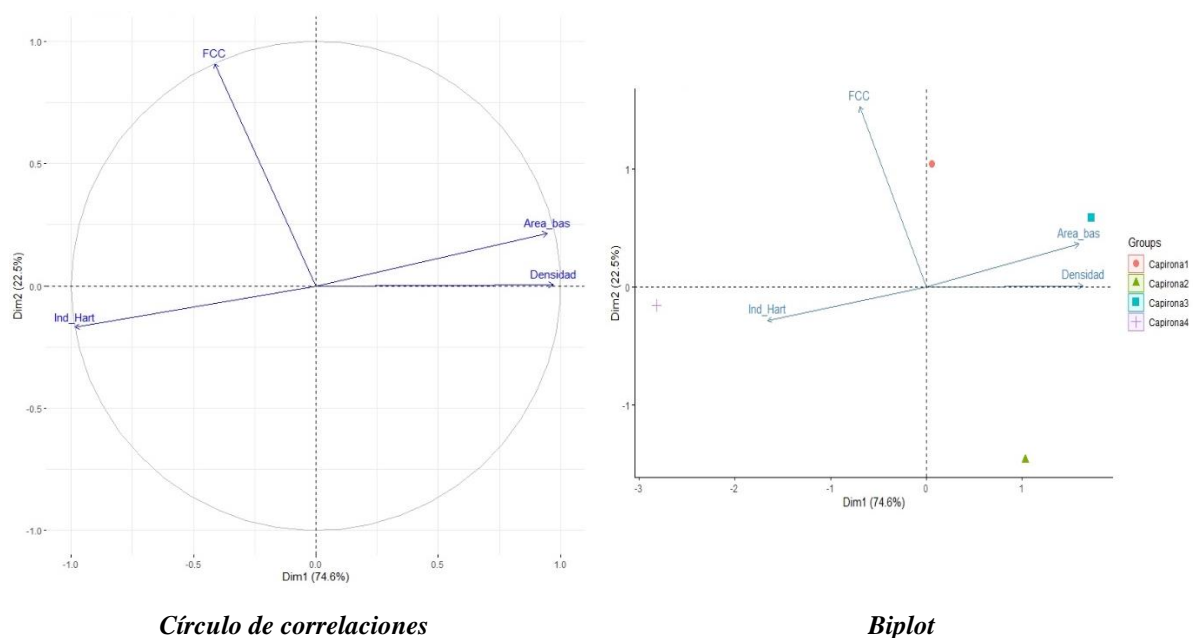
De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado por Ugalde y Gómez (2006), para las parcelas 1, 2 y 3 podría prescribirse un raleo. Para la parcela 4 no se prescribiría un raleo.



**Figura 6: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de *Calycophyllum spruceanum***

El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 97,1 por ciento de la varianza de los datos (Figura 7). El círculo de correlaciones mostró que la densidad y el área basal se encontraron directamente correlacionados; y que el índice de Hart-Becking se encontró inversamente correlacionado a estos dos indicadores. El biplot mostró que el comportamiento de los indicadores de espesura de masa forestal varía en función de la parcela. De esta manera, la caracterización de la parcela 4 estuvo mayormente influenciada por el índice de Hart-Becking; resultado de su menor densidad y altura total promedio. La caracterización de la parcela 3 estuvo influenciada por la densidad y el área basal, indicadores donde obtuvo los mayores valores. La caracterización de la parcela 1 estuvo influenciada por la FCC; resultado de su mayor proyección de copa promedio en comparación con las parcelas 2 y 3 (dicho resultado a pesar de tener menor

densidad). Finalmente, en la caracterización de la parcela 2 la influencia de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal no fue diferencial.



**Figura 7: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Calycophyllum spruceanum***

#### **4.1.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Calycophyllum spruceanum***

Finalmente, en la Tabla 17 se presenta los resultados de pH y textura del suelo de las cuatro parcelas evaluadas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe y la clasificación de textura de Conti, respectivamente.

**Tabla 17. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Calycophyllum spruceanum***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1	5,7	Medianamente ácido	Franco arcillo arenoso	Media
2	5,6	Medianamente ácido	Arcilloso	Fina
3	6,3	Ligeramente ácido	Arcilloso	Fina
4	6,9	Ligeramente ácido	Arcilloso	Fina

Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en plantaciones puras de 19 años de edad. En estas parcelas la mayoría de los indicadores crecimiento y productividad presentaron valores similares. Sólo los valores de IMA G e IMA V<sub>c</sub> fueron diferentes debido a que la densidad fue diferente también. Preliminarmente, los indicadores de espesura de masa forestal mostraron que estas plantaciones presentaron una espesura de normal a excesiva; lo que sugiere la necesidad de aplicar raleos.

Las condiciones del suelo de estas parcelas fueron similares. En cuanto al pH del suelo, las parcelas 1 y 2 se establecieron en suelos medianamente ácidos, mientras que la parcela 3 se estableció en suelos ligeramente ácidos. En el caso de la textura del suelo, la parcela 1 se estableció en un suelo de textura media; mientras que las parcelas 2 y 3 se establecieron en suelos de textura fina.

La parcela 4 se instaló en un sistema agroforestal de 11 años de edad. Los valores de los indicadores de crecimiento y productividad de esta parcela fueron menores a las parcelas 1, 2 y 3; excepto en IMA dap, donde obtuvo un valor mayor. Este resultado pudo estar relacionado al mayor espaciamiento entre árboles, propio de un sistema agroforestal. Los indicadores de espesura de masa forestal indicaron que esta parcela presentó una espesura defectiva.

Las condiciones de suelo de la parcela 4 fueron similares a las parcelas 1, 2 y 3: presentó un pH ligeramente ácido y una textura fina.



Al comparar los valores de crecimiento y productividad de las cuatro parcelas con otros estudios, se observó que fueron menores. Este resultado no estaría relacionado al pH de las parcelas ya que, de acuerdo a Flores (2019), *C. spruceanum* se desarrolla en suelos con pH entre 5,0 y 6,5. Revilla (2001), citado por Caneiro *et al.* (2021), precisa que la especie no se adapta bien a suelos con pH entre 4,0 a 4,5; desarrollándose mejor en suelos con pH próximos a 7,0.

En relación a la textura del suelo, Wightman *et al.* (2006) indican que la especie prefiere suelos aluviales arcillosos. Además, Ushiñahua (2016) señala que estos suelos preferentemente deber ser fértiles y sin excesos de acidez.

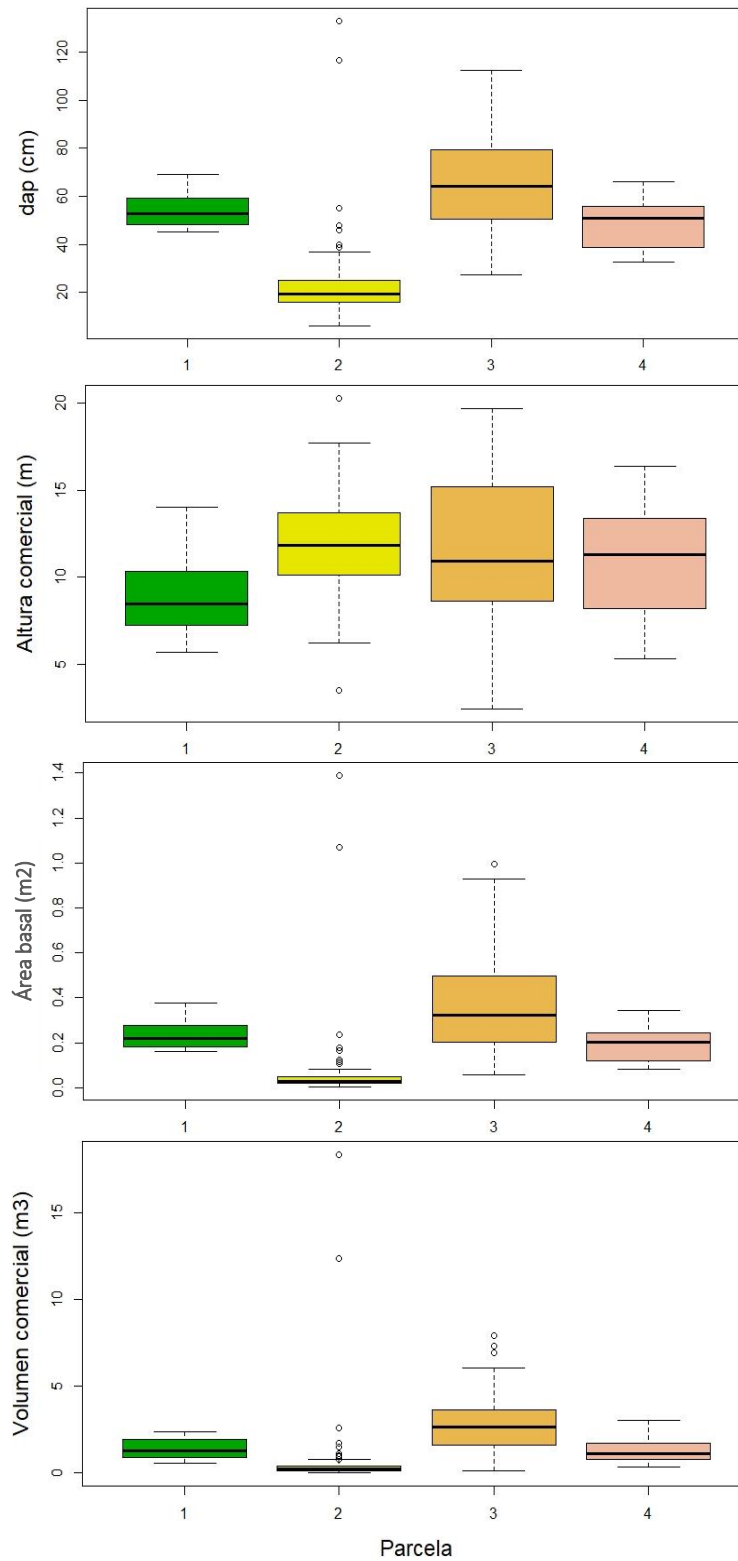
## **4.2 CEDRELINGA CATENIFORMIS (DUCKE) DUCKE - “TORNILLO”**

### **4.2.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Cedrelinga cateniformis***

La Figura 8 muestra los diagramas de cajas de los indicadores de crecimiento para las cuatro parcelas de *C. cateniformis* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*. Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en plantaciones puras de 17 años, 15 años y 35 años correspondientemente. La parcela 4 se instaló en un sistema agroforestal de 30 años.

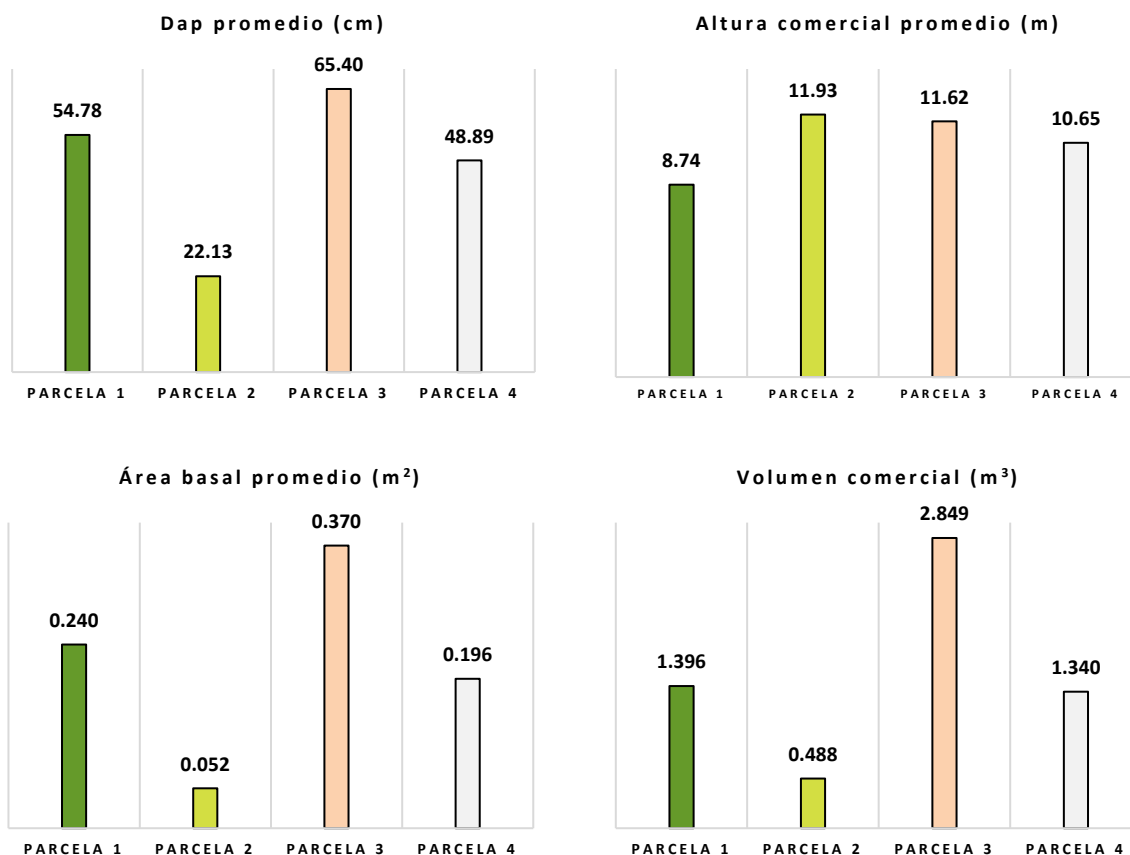
En general, se pudo observar que la parcela 3 mostró los mayores valores de crecimiento (resultado de su mayor edad), y la parcela 2 presentó, salvo en altura comercial, los menores valores de crecimiento (resultado de su menor edad).

La parcela 2 presentó datos atípicos en los cuatro indicadores de crecimiento. Ello sugiere que el crecimiento de varios de los árboles de esta parcela se diferenció notoriamente de los demás.



**Figura 8: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Cedrelinga cateniformis***

La Figura 9 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *C. cateniformis*.



**Figura 9: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Cedrelinga cateniformis***

De las parcelas instaladas en plantaciones puras, la parcela 3 presentó el mayor dap promedio (65,4 cm); seguida de las parcelas 1 y 2, con 54,78 cm y 22,13 cm respectivamente. La prueba *t* de Student demostró que existió diferencia significativa entre el promedio de dap de las tres parcelas (Tabla 18).

A pesar de que el orden en el resultado de dap promedio de las tres parcelas correspondió al orden en la edad de plantación; cabe destacar la diferencia entre los promedios de las parcelas 1 y 2; que se diferencian por 2 años de edad.

El resultado de la parcela 1, de 17 años de edad, fue superior al dap promedio de 38,5 cm señalado por Flores (2010) en plantaciones puras de 20 años ubicadas en Estación Experimental Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali). Cabe señalar que, de acuerdo a Flores (2006), *C. cateniformis* alcanza hasta 60 cm de dap a los 20 años de edad; sin embargo, hasta este periodo el leño está constituido fundamentalmente por madera juvenil.

El resultado de la parcela 2, de 15 años de edad, fue ligeramente superior al dap promedio de 21,9 cm señalado por Blaser *et al.* (1985) para plantaciones a campo abierto de 9,8 años de edad instaladas en la Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera (departamento de Loreto). Cabe resaltar que la diferencia de edad entre ambas parcelas fue 5,2 años.

El resultado de la parcela 3, de 35 años, fue menor al dap promedio de 69,9 cm señalado por Angulo *et al.* (2016) para plantaciones puras de 30 años ubicadas en Yurimaguas (departamento de Loreto). Por el contrario, fue superior al dap promedio de 27,89 cm reportado por Silva (2011) para plantaciones experimentales de 31 años ubicadas en Puerto Almendra (departamento Loreto).

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 30 años, presentó un dap promedio de 48,89 cm. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 1 y 4 (Tabla 18). Para un sistema agroforestal de 15 años ubicado en El Dorado (departamento de Loreto), Angulo *et al.* (2016) reportaron un dap promedio de 30,6 cm.

En relación a la altura comercial, la parcela 2 presentó el mayor promedio (11,93 m); seguida de las parcelas 3 y 1, con 11,62 m y 8,74 m respectivamente. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 2 y 3 (Tabla 18).

Para *C. cateniformis* se han reportado valores de altura total. Silva (2011) encontró una altura total de 19,45 m en plantaciones experimentales de 31 años. Angulo *et al.* (2016) registró una altura total promedio de 33,70 m en plantaciones a campo abierto de 30 años. Flores (2010) determinó en plantaciones puras de 20 años una altura promedio de 26,4 m. Flores (2019)

reportó una altura total promedio de 12,44 m en plantaciones de 9 años. Se observa una alta variabilidad en este parámetro dasométrico.

**Tabla 18: Prueba *t* de Student para los indicadores de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor	*	p valor	*	p valor	*	p valor	*
1 - 2	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.032	*
1 - 3	0.000	*	0.011	*	0.032	*	0.004	*
1 - 4	0.772	n.s.	0.067	n.s.	0.102	n.s.	0.808	n.s.
2 - 3	0.000	*	0.539	n.s.	0.000	*	0.000	*
2 - 4	0.000	*	0.057	n.s.	0.000	*	0.038	*
3 - 4	0.000	*	0.396	n.s.	0.004	*	0.002	*

La parcela 4 presentó una altura comercial promedio de 10,65 m. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre el promedio de la parcela 4 y el promedio de las otras parcelas (Tabla 18). Angulo *et al.* (2016) indica una altura total promedio de 18,0 m para un sistema agroforestal de 15 años.

Respecto al área basal promedio, de las parcelas instaladas en plantaciones puras, la parcela 3 obtuvo 0,370 m<sup>2</sup>, el mayor valor. Siguió las parcelas 1 y 2, con 0,240 m<sup>2</sup> y 0,052 m<sup>2</sup>. La prueba *t* de Student demostró que existió diferencia significativa entre los promedios de las tres parcelas (Tabla 18).

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal, presentó un área basal promedio de 0,196 m<sup>2</sup>. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 1 y 4 (Tabla 18). Este resultado sugiere que el sistema agroforestal de 30 años obtuvo resultados de crecimiento en área basal similares a una plantación pura de 17 años.

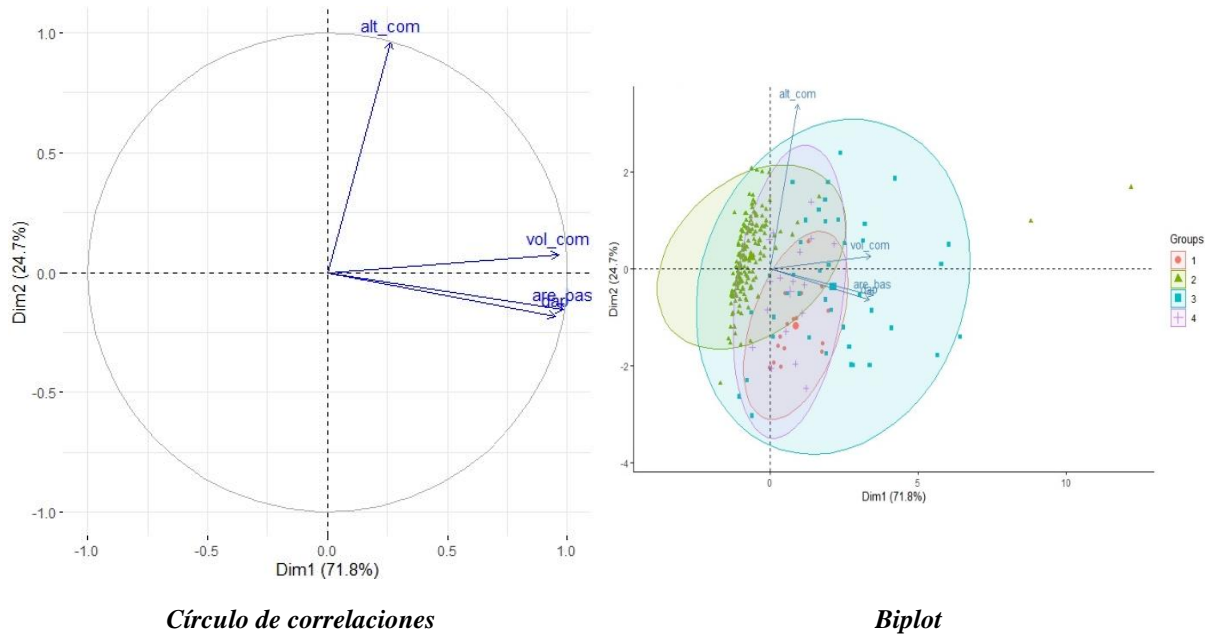
No se encontraron datos del área basal publicados para plantaciones de *C. cateniformis*.

En relación al volumen comercial promedio, la parcela 3 presentó 2,849 m<sup>3</sup>. Siguieron las parcelas 1 y 2 con 1,396 m<sup>3</sup> y 0,488 m<sup>3</sup> respectivamente. La prueba *t* de Student (Tabla 18) demostró que existió diferencia significativa entre los promedios de las tres parcelas.

La parcela 4 obtuvo 1,340 m<sup>3</sup> de volumen comercial promedio. La prueba *t* de Student (Tabla 18) demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 1 y 4. Este resultado sugiere que el sistema agroforestal de 30 años obtuvo resultados de crecimiento en volumen comercial similares a una plantación pura de 17 años.

No se encontraron datos del volumen comercial publicados para plantaciones de *C. cateniformis*.

Cabe indicar que, según Flores (2006), diferentes ensayos han demostrado el buen crecimiento de *C. cateniformis* en plantaciones puras, sistemas agroforestales y fajas de enriquecimiento. El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 96,5 por ciento de la varianza de los datos (Figura 10). El círculo de correlaciones mostró que el dap, área basal y volumen comercial estuvieron correlacionados. El biplot mostró que el crecimiento de la parcela 3 se diferenció de las demás parcelas; y que estuvo representado principalmente por el dap, área basal y volumen comercial. Asimismo, mostró que el crecimiento de los árboles de la parcela 2 estuvo representado principalmente por la altura comercial.

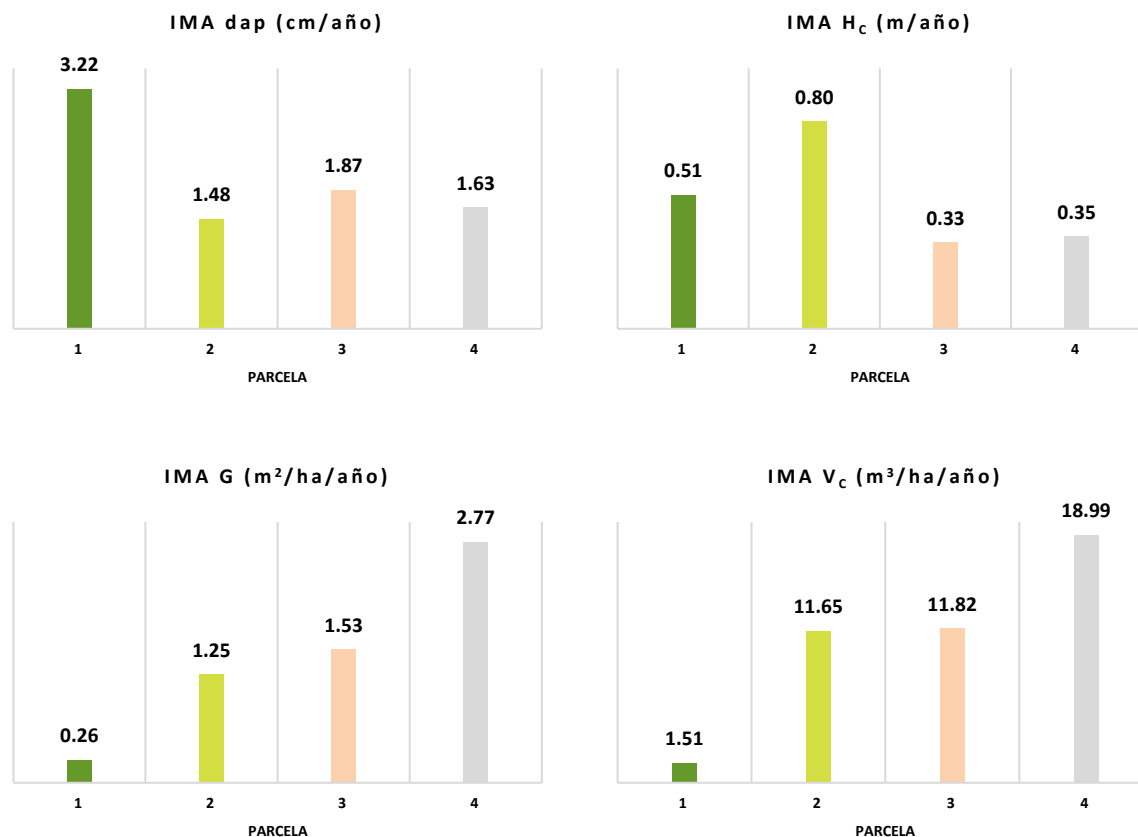


**Figura 10: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento para *Cedrelinga cateniformis***

#### 4.2.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Cedrelinga cateniformis*

La Figura 11 muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las cuatro parcelas de *C. cateniformis*.

De las parcelas instaladas en plantaciones puras, la parcela 1 presentó el mayor IMA dap (3,22 cm/año). Siguieron las parcelas 3 y 2; con 1,87 cm/año y 1,48 cm/año respectivamente.



**Figura 11: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de *Cedrelinga cateniformis***

El resultado de la parcela 1 fue notoriamente superior al reporte de 1,96 cm/año de Flores (2010) para plantaciones puras de 20 años instaladas en la Estación Experimental Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali).

El resultado de la parcela 2 fue menor al IMA de 2,2 cm/año indicado por Blaser *et al.* (1985) para plantaciones a campo abierto de 9,8 años de edad, instaladas en la Centro de Investigación de Jenaro Herrera (Requena, Loreto). También resultó menor al IMA dap de 1,72 cm/año presentado por Flores (2019) para plantaciones de 9 años en suelos gleysoles en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali). Cabe indicar que la parcela 2 tenía 15 años en el momento de la evaluación.



El resultado de la parcela 3 fue menor al IMA dap promedio de 2,4 cm/año señalado por Angulo *et al.* (2016) para una plantación pura de 30 años ubicada en Yurimaguas (departamento de Loreto). Por el contrario, fue mayor al IMA dap de 0,90 cm/año señalado por Silva (2011) para plantaciones experimentales de 31 años ubicadas en Puerto Almendra (departamento de Loreto). La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal, presentó una IMA dap de 1,63 cm/año. Para un sistema agroforestal de 15 años ubicado en El Dorado (departamento de Loreto), Angulo *et al.* (2016) reportaron un IMA dap promedio de 2,1 cm/año.

En general, Flores (2019) señala para *C. cateniformis* un IMA dap de 1,37 a 2,65 cm/año. Las parcelas 2, 3 y 4 obtuvieron un IMA dap dentro de este rango; mientras que la parcela 1 obtuvo un resultado superior.

En relación al IMA  $h_c$ , la parcela 2 obtuvo 0,80 m/año; seguida de las parcelas 1 y 3 con 0,51 m/año y 0,33 m/año. La parcela 4 presentó un IMA  $h_c$  de 0,35 m/año.

Estos resultados fueron menores al IMA  $h_c$  de 1,10 m/año señalado por Blaser *et al.* (1985) para plantaciones a campo abierto de 9,8 años de edad instaladas en la Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera (departamento de Loreto).

Se han reportado algunos valores de IMA altura total. Por ejemplo, Silva (2011) indica un IMA altura total de 0,62 m/año para plantaciones de 31 años, instaladas bajo diferentes densidades. Flores (2019) reporta un IMA altura total 1,38 m/año en plantaciones de 9 años en suelos gleysol en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali). En general, Flores (2019) señala para *C. cateniformis* un IMA en altura total de 1,0 m/año a 1,2 m/año.

Respecto al IMA G, la parcela 3 presentó 1,53 m<sup>2</sup>/ha/año; seguida de las parcelas 2 y 1 con 1,25 m<sup>2</sup>/ha/año y 0,26 m<sup>2</sup>/ha/año. Cabe indicar que, de estas tres parcelas, la parcela 2 presentó la mayor densidad (359 árboles/ha) y la parcela 1 presentó la menor densidad (18 árboles/ha).

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal, presentó un IMA G de 2,77 m<sup>2</sup>/ha/año. Este resultado responde a su densidad (425 árboles/ha), que superó a la densidad de las tres primeras parcelas; a pesar que fueron instaladas en plantaciones puras.

No se encontraron datos IMA G publicados para plantaciones de *C. cateniformis*.

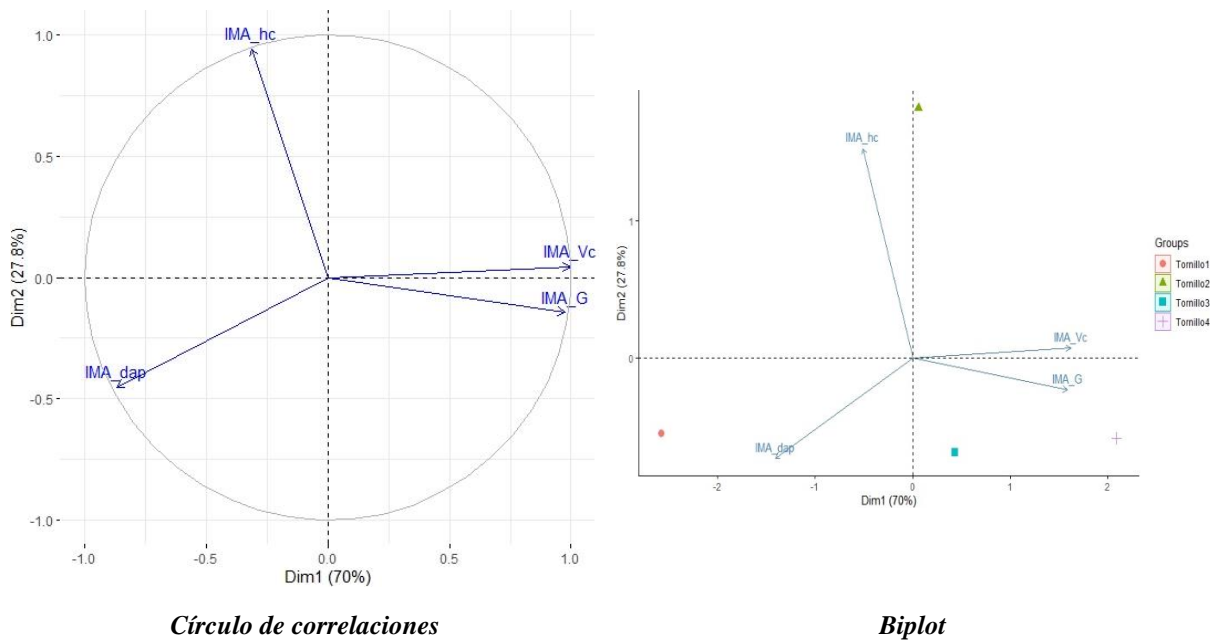
En relación al IMA V<sub>c</sub>, las parcelas 2 y 3 presentaron 11,25 m<sup>3</sup>/ha/año y 11,82 m<sup>3</sup>/ha/año. Estos valores fueron notoriamente mayores al IMA V<sub>c</sub> de 1,51 m<sup>3</sup>/ha/año que presentó la parcela 1. La parcela 4 presentó 18,99 m<sup>3</sup>/ha/año. Al igual que en el IMA G, los resultados de IMA V<sub>c</sub> fueron influenciados por la densidad de cada parcela.

Se han reportado IMA para volúmenes totales. Por ejemplo, Angulo *et al.* (2016) para una plantación pura de 30 años instalada a un distanciamiento de 5 m x 10 m indican un IMA volumen total de 33 m<sup>3</sup>/ha/año. Asimismo, para un sistema agroforestal de 15 años instalada a un distanciamiento de 5 m x 5 m, reportan un IMA volumen total de 20 m<sup>3</sup>/ha/año. También, para una plantación a campo abierto de 65 años ubicada en el Campo Experimental de la UNAS en Tingo María (departamento de Huánuco) señalan un IMA volumen total de 44 m<sup>3</sup>/ha/año.

Claussi *et al.* (1992), citados por Flores (2010), estimó un IMA volumen total de 24.26 m<sup>3</sup>/ha/año en plantaciones puras de 18.5 años de edad instaladas en Jenaro Herrera (departamento de Iquitos). Este ensayo contaba con 622 árboles/ha al momento de su evaluación.

En general, Flores (2019) señala para *C. cateniformis* un IMA volumen total de 8,0 a 26,0 m<sup>3</sup>/ha/año. No indica la densidad requerida para obtener estos resultados.

El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 97,8 por ciento de la varianza de los datos (Figura 12).

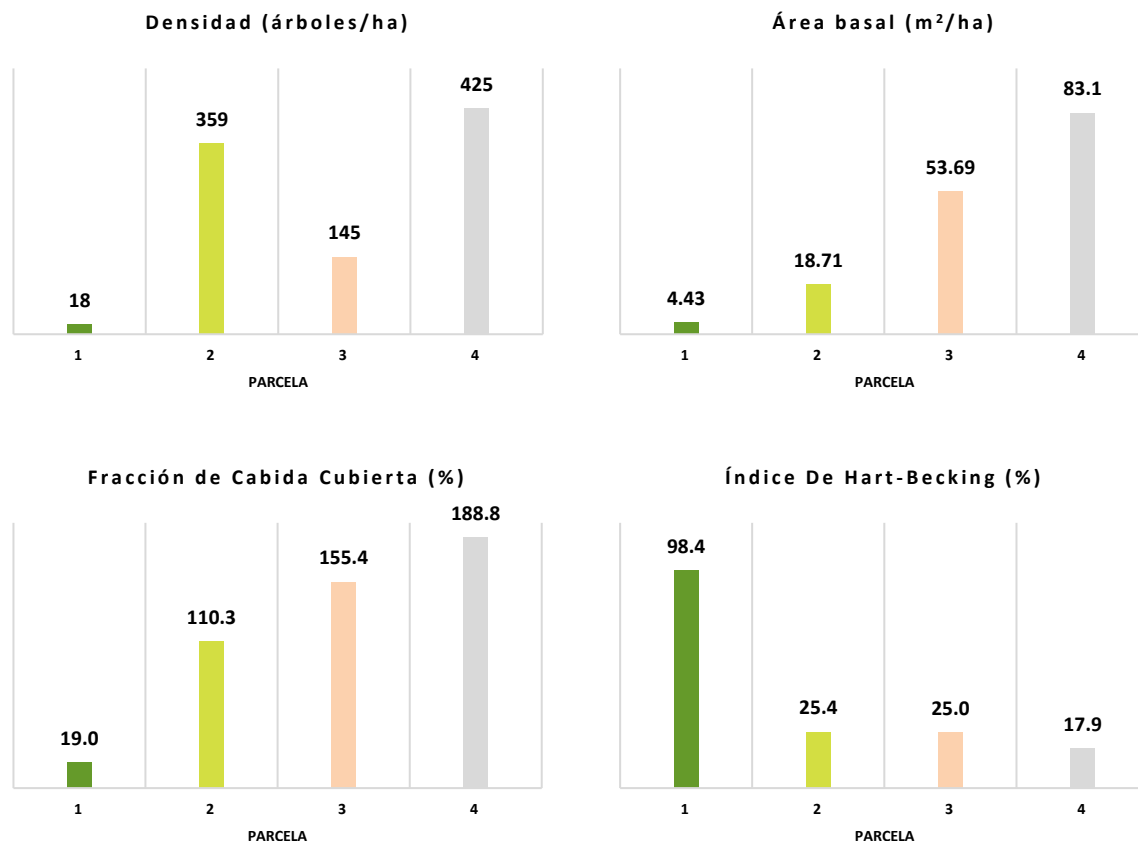


**Figura 12: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de *Cedrelinga cateniformis***

El círculo de correlaciones mostró que el IMA G e IMA V<sub>c</sub> estuvieron directamente correlacionados; y que estos dos indicadores estuvieron inversamente correlacionados con el IMA dap. El biplot mostró que la representatividad de los indicadores de productividad varió según la parcela. De esta manera, el IMA dap fue representativo para la parcela 1. El IMA h<sub>c</sub> fue representativo para la parcela 2. El IMA G e IMA V<sub>c</sub> fueron representativos para la parcela 4. Ninguno de los indicadores tuvo una representatividad resaltante para la parcela 3.

#### 4.2.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Cedrelinga cateniformis*

La Figura 13 muestra los resultados de los indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de *C. cateniformis* instaladas.



**Figura 13: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de *Cedrelinga cateniformis***

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal, tuvo una densidad de 425 árboles/ha. Este resultado fue mayor a la densidad de las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en plantaciones puras (18 árboles/ha, 359 árboles/ha y 145 árboles/ha respectivamente).

En relación al área basal, la parcelas 3 presentó el mayor valor (53,69 m<sup>2</sup>/ha). Siguieron las parcelas 2 y 1, con 18,71 m<sup>2</sup>/ha y 4,43 m<sup>2</sup>/ha. La parcela 4 tuvo un área basal de 83,1 m<sup>2</sup>/ha.

Para una plantación pura de 30 años en Yurimaguas (departamento de Loreto), Angulo *et al.* (2016) reportaron un área basal promedio de 85,07 m<sup>2</sup>/ha. Asimismo, para una plantación pura de 65 años ubicada en Campo Experimental de la UNAS en Tingo María (departamento de Huánuco), reportan un área basal promedio de 153,83 m<sup>2</sup>/ha. También, para un sistema

agroforestal de 15 años señalan un área basal promedio de 24.03 m<sup>2</sup>/ha. Para ninguno de los tres registros, Angulo *et al.* (2016) ofrecen datos de densidad.

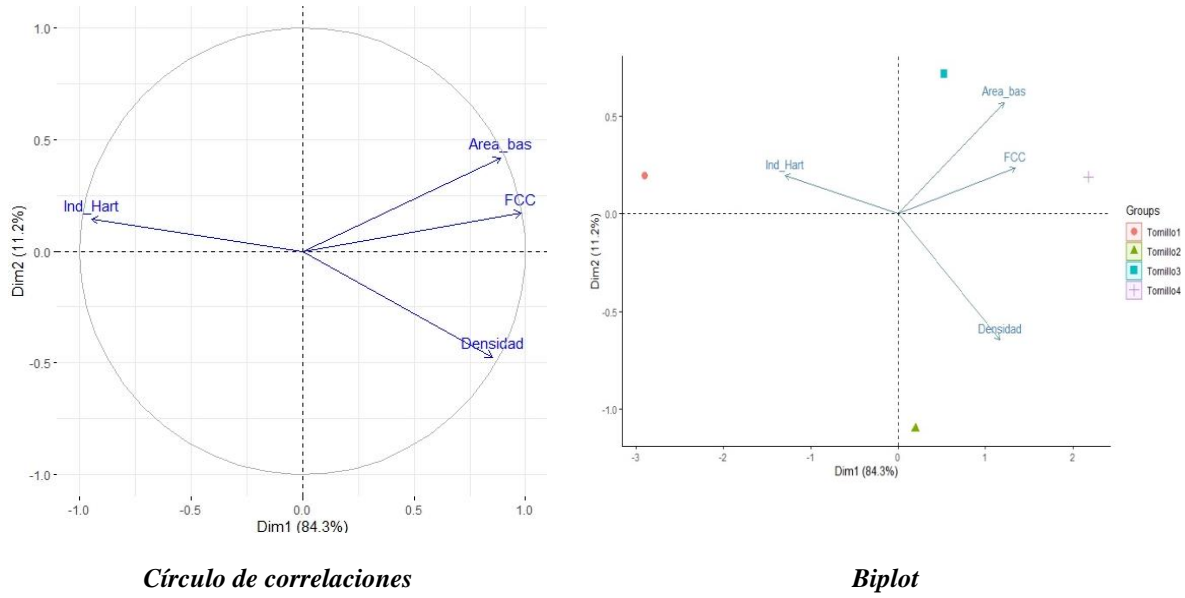
Flores (2010) determinó para plantaciones puras de 20 años instaladas en la Estación Experimental Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali) un área basal de 34,2 m<sup>2</sup>/ha, con una densidad de 309 árboles/ha. Claussi *et al.* (1992), citados por Flores (2010), estimaron en plantaciones puras de 18.5 años en Jenaro Herrera (Perú) un área basal de 39.88 m<sup>2</sup>/ha con 622 árboles/ha.

De acuerdo a la clasificación de espesura de masa en base al área basal propuesta de Gonzáles (2011), la parcela 1 calificó como espesura muy clara; la parcelas 2 calificó como espesura defectiva; la parcela 3 calificó como espesura excesiva; y la parcela 4 calificó como espesura trabajada.

De acuerdo a las categorías de FCC propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), la parcela 1 calificó como espesura abierta; y las parcelas 2, 3 y 4 calificaron como arbolado cerrado.

De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado por Prodan *et al.* (1997), las parcelas 1, 2 y 3 pudieron haber recibido un raleo intensivo. La parcela 4 no requiere raleo.

El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 95,5 por ciento de la varianza de los datos (Figura 14). El círculo de correlaciones mostró que la densidad, el área basal y la FCC estuvieron directamente correlacionadas; y que estos tres indicadores estuvieron inversamente correlacionados con el Índice de Hart-Becking. El biplot mostró que el Índice de Hart-Becking fue un indicador representativo para la parcela 1; la densidad fue representativa para la parcela 2; el área basal fue representativo para la parcela 3; y la FCC fue representativo para la parcela 4.



**Figura 14: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Cedrelinga cateniformis***

#### 4.2.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Cedrelinga cateniformis*

Finalmente, en la Tabla 19 se presenta los resultados de pH y textura del suelo de las cuatro parcelas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe y la clasificación de textura de Conti, respectivamente.

**Tabla 19. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Cedrelinga cateniformis***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1	3,9	Extremadamente ácido	Franco	Moderadamente gruesa
2*	4,7	Fuertemente ácido	Arcilloso	Fina
3	3,7	Extremadamente ácido	Arena franca	Gruesa
4	6,7	Ligeramente ácido	Franco arcilloso	Moderadamente fina

\* FAO *et al.* (2009)

Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en plantaciones puras de 17, 15 y 35 años respectivamente. En general los valores de crecimiento de estas parcelas variaron en relación a la edad de plantación. De esta manera, la parcela 3 obtuvo valores mayores que las otras dos parcelas. Cabe resaltar que las parcelas 1 y 2 presentaron una marcada diferencia en el dap promedio a pesar de tener una diferencia de edad de sólo 2 años. Esto se reflejó en el IMA dap de la parcela 1, que fue el mayor de las cuatro parcelas evaluadas.

Los indicadores de espesura de masa forestal mostraron resultados variados debido a la marcada diferencia de densidad. Es así que las parcelas 2 y 3 tuvieron una espesura de normal a excesiva, mientras que la parcela 1 tuvo una espesura defectiva.

La parcela 4 se instaló en un sistema agroforestal de 30 años. Los indicadores de crecimiento se relacionaron a la edad de plantación. El IMA G e IMA  $V_c$  estuvieron influenciados por la densidad de plantación, que fue mayor que las tres primeras parcelas. Los indicadores de espesura de masa indican que presentó una espesura de normal a excesiva.

Al comparar los valores de crecimiento y productividad de estas parcelas con otros estudios se observaron resultados variados. La parcela 1 presentó valores mayores. Las parcelas 3 y 4 presentaron valores similares. La parcela 2 presentó valores menores.

Esta variedad de resultados se relaciona a la capacidad de la especie para desarrollarse en un amplio rango de suelos. Flores (2019) señala que la especie crece en suelos con pH de 4,5 a 6,0 y de texturas franco arenoso, franco, franco limoso, franco arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso, limoso, arcillo arenoso, arcillo limoso o arcilloso. Angulo (2014) señala que *C. cateniformis* prefiere suelos cuyo pH esté entre 4,0 y 5,1. Por último, López (1981) indica que *C. cateniformis* no exige suelo de buena fertilidad. Cabe señalar que las plantaciones evaluadas se establecieron en suelos con diferentes condiciones de pH y textura (Tabla 19).

### **4.3 DIPTERYX FERREA DUCKE – “SHIHUAHUACO”**

#### **4.3.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Dipteryx ferrea***

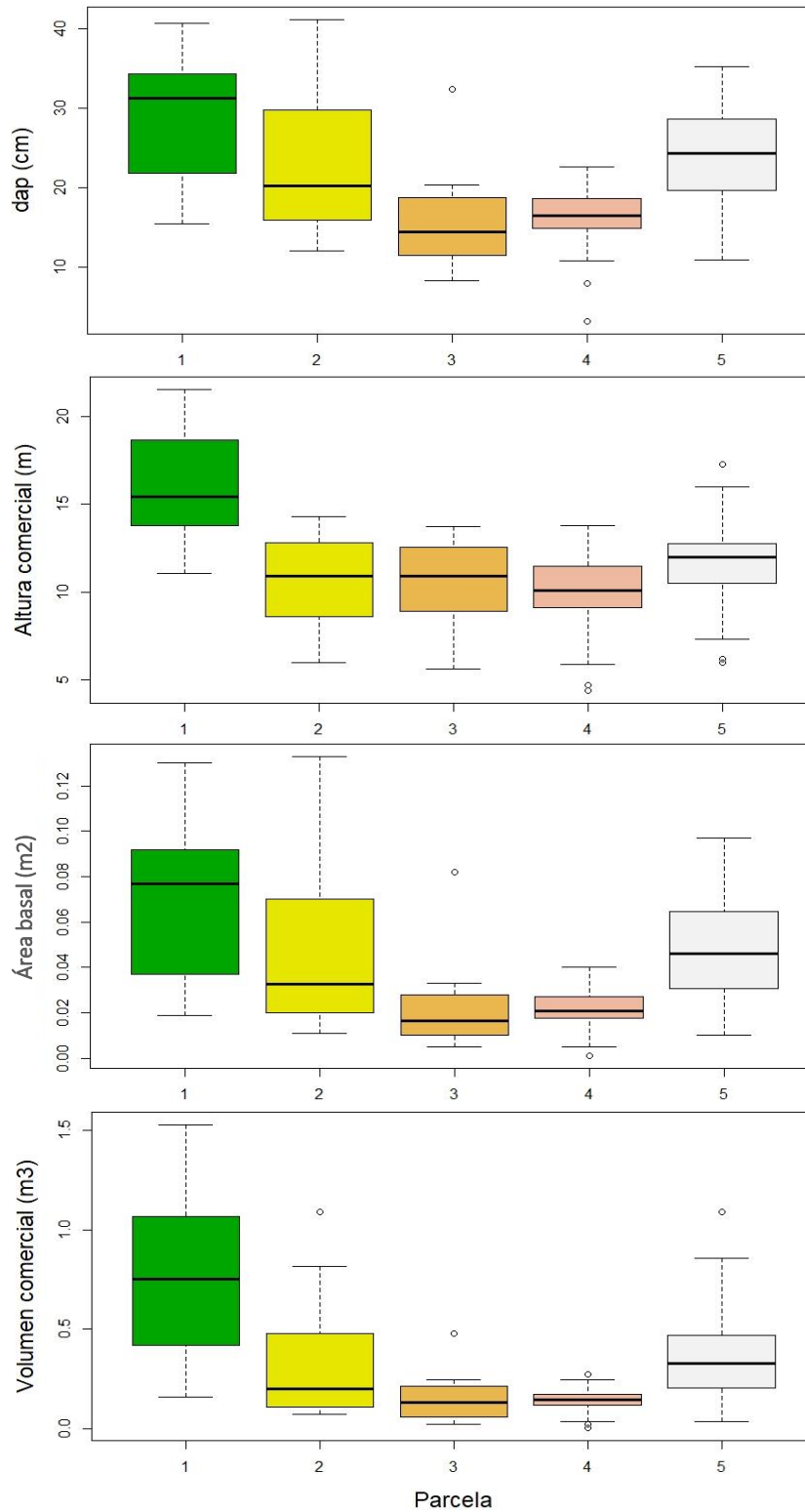
La Figura 15 muestra los diagramas de cajas de los indicadores de crecimiento para las cinco parcelas de *D. ferrea* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*. Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en plantaciones puras de 23 años de edad. La parcela 4 se instaló en un sistema agroforestal de 18 años de edad. Por último, la parcela 5 se instaló en una plantación pura de 15 años de edad.

En general, se pudo observar que las parcelas 1, 2 y 5 presentaron los mayores valores de crecimiento; destacando la parcela 1. Asimismo, el crecimiento de las parcelas 3 y 4 presentó valores similares, a pesar que ambas parcelas tuvieron sistemas de plantación y edades diferentes.

También, se pudo observar que los árboles de las parcelas 1, 2 y 5 presentaron un crecimiento heterogéneo. En particular, se observó que los diagramas de caja de la parcela 1 mostraron un alto rango intercuartil, lo que indica mayor dispersión de sus datos.

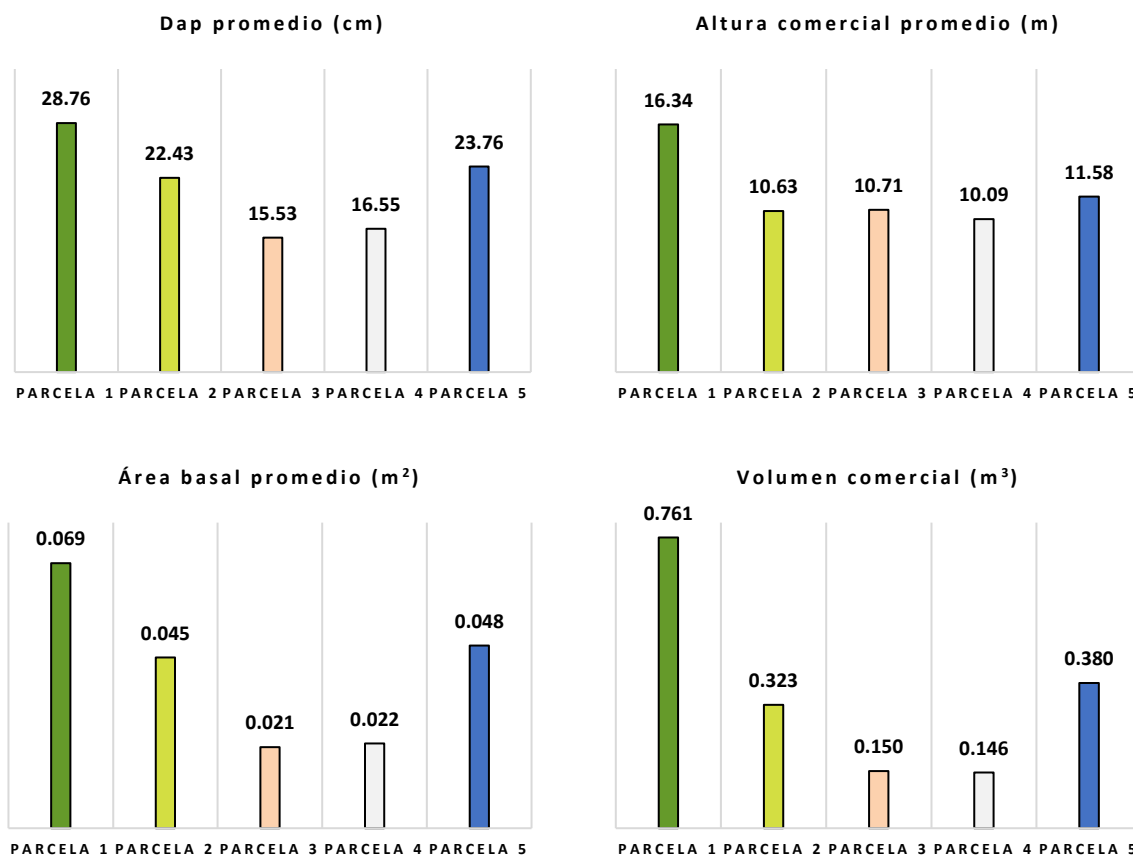
Todas las parcelas presentaron datos atípicos, a excepción de la parcela 1. Esto sugiere que el crecimiento de algunos árboles se diferenció marcadamente de los demás.





**Figura 15: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de *Dipteryx ferrea***

La figura 16 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *D. ferrea* evaluadas.



**Figura 16: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de *Dipteryx ferrea***

De las parcelas de 23 años instaladas en plantaciones puras, la parcela 1 presentó el mayor dap promedio (28,76 cm); seguida de las parcelas 2 y 3, con 22,43 cm y 15,23 cm. La prueba *t* de Student demostró que existió diferencia significativa entre los promedios de las tres parcelas (Tabla 20). No se encontraron valores de dap publicados para plantaciones de *D. ferrea* de edades similares.

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 18 años, presentó el menor dap promedio de las cinco parcelas (15,23 cm). Aunque la prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de la parcela 3 y 4 (Tabla 20).

El promedio de la parcela 4 resultó menor al registro de INIA (2019) para un sistema agroforestal de 15 años con diferentes especies forestales (entre ellas *D. ferrea*; instaladas a un distanciamiento de 5 m x 5 m. INIA (2019) determinó un dap promedio de 24,2 cm.

Las parcelas 5, instalada en una plantación pura de 15 años, tuvo un dap promedio de 23,76 cm. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de la parcela 2 y 5 (Tabla 20); a pesar de que ambas tenían edades diferentes.

Dicho resultado fue mayor al dap promedio de 23,1 cm que INIA (2019) determinó para una plantación pura de 17 años ubicada en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali) e instalada en suelos degradados bajo un distanciamiento a 5 m x 5m.

En relación a la altura comercial promedio, la parcela 1 presentó 16,74 m; seguida de las parcelas 3 y 2, con 10,71 m y 10,63 m correspondientemente. La prueba *t* de Student mostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de altura comercial de las parcelas 2 y 3 (Tabla 20). No se encontraron valores de altura comercial publicados para plantaciones de *D. ferrea* de edades similares.

La parcela 4 presentó 10,09 m, el menor promedio de altura comercial de todas las parcelas. Sin embargo, la prueba *t* de Student mostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 2 y 4; y las parcelas 3 y 4 (Tabla 20). Para la altura total en sistemas agroforestales, INIA (2019) reportó un promedio de 13,75 m a los 15 años de crecimiento.

La parcela 5 obtuvo 11,58 m. La prueba *t* de Student mostró que no existió diferencia significativa entre los promedios altura comercial de las parcelas 2 y 5; y las parcelas 3 y 5 (Tabla 20). INIA (2019) determinó una altura total promedio de 12,87 m para plantaciones puras de 17 años.

En relación al área basal promedio, la parcela 1 obtuvo el mayor valor (0,069 m<sup>2</sup>); seguida de las parcelas 2 y 3, con 0,045 m<sup>2</sup> y 0,042 m<sup>2</sup>. La prueba *t* de Student demostró que existió

diferencia significativa entre los promedios de las tres parcelas (Tabla 20). La parcela 4 presentó un área basal promedio de 0,022 m<sup>2</sup>, el menor valor de las cinco parcelas. La prueba *t* de Student demostró que no existieron diferencias significativas entre los promedios de las parcelas 3 y 4. La parcela 5 obtuvo 0,048 m<sup>2</sup>. La prueba *t* de Student demostró que no existieron diferencias significativas entre los promedios de las parcelas 2 y 5. No se encontraron datos del área basal publicados para *D. ferrea*.

Respecto al volumen comercial, de las parcelas instaladas en plantaciones puras de 23 años, la parcela 1 obtuvo el mayor promedio (0,069 m<sup>3</sup>); seguida de las parcelas 2 y 3, con 0,303 m<sup>3</sup> y 0,015 m<sup>3</sup> respectivamente. La prueba *t* de Student demostró que existió diferencia significativa entre los promedios de las tres parcelas (Tabla 20).

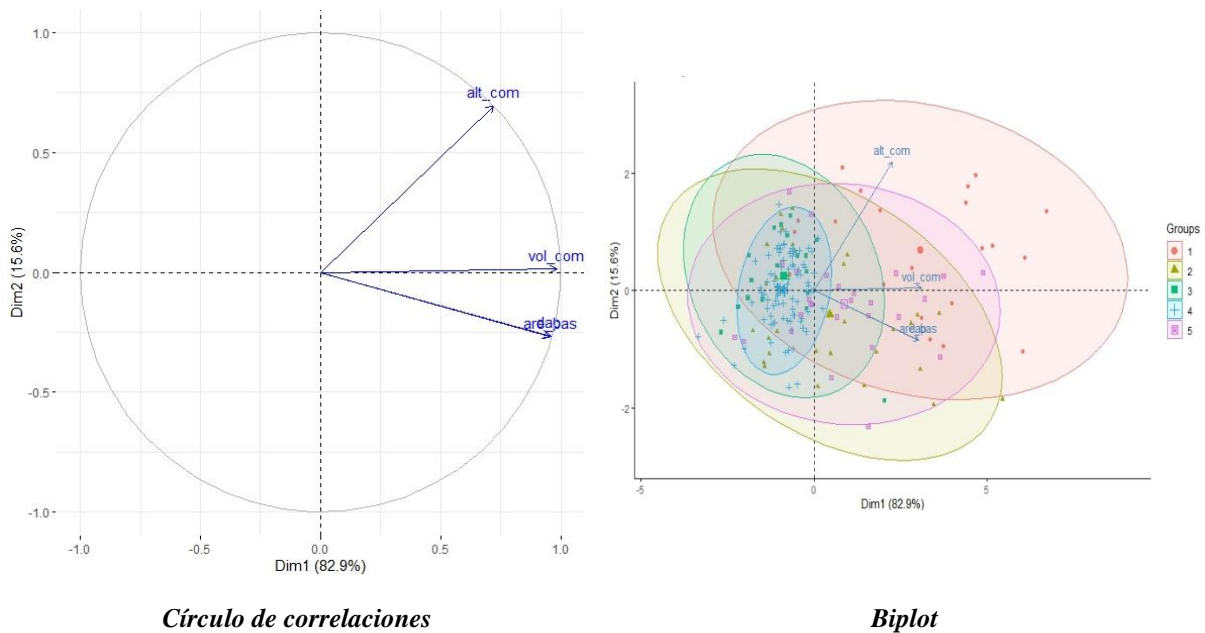
**Tabla 20: Prueba *t* de Student para los indicadores de crecimiento de *Dipteryx ferrea***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor	*	p valor	*	p valor	*	p valor	*
1 - 2	0.008	*	0.000	*	0.010	*	0.000	*
1 - 3	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
1 - 4	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
1 - 5	0.022	*	0.000	*	0.014	*	0.000	*
2 - 3	0.003	*	0.914	n.s.	0.007	*	0.013	*
2 - 4	0.000	*	0.208	n.s.	0.000	*	0.000	*
2 - 5	0.515	n.s.	0.188	n.s.	0.684	n.s.	0.418	n.s.
3 - 4	0.250	n.s.	0.209	n.s.	0.701	n.s.	0.814	n.s.
3 - 5	0.000	*	0.277	n.s.	0.000	*	0.001	*
4 - 5	0.000	*	0.001	*	0.000	*	0.000	*

La parcela 4 presentó 0,146 m<sup>3</sup>, el menor promedio de las cinco parcelas. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 3 y 4.

La parcela 5 obtuvo 0,380 m<sup>3</sup>. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 2 y 5. No se encontraron valores de volumen comercial publicados para plantaciones de *D. ferrea*.

El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 98,5 por ciento de la varianza de los datos (Figura 17). El círculo de correlaciones mostró que los cuatro indicadores de crecimiento estuvieron directamente correlacionados; en especial el dap, el área basal y el volumen comercial. El biplot mostró que el crecimiento de la parcela 1 se diferenció de las demás parcelas; y que el crecimiento de la mayoría de árboles de esta parcela estuvo representado por el dap, el área basal y el volumen comercial. Asimismo, mostró que el crecimiento de las parcelas 2, 3, 4 y 5 fue similar. Sin embargo, la parcela 4 se diferencia de las otras tres porque su crecimiento estuvo mayormente representado por la altura comercial.



**Figura 17: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento para *Dipteryx ferrea***

### 4.3.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Dipteryx ferrea*

La Figura 18 muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las cinco parcelas de *D. ferrea*.

Las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en plantaciones puras de 23 años, presentaron un IMA dap de 1,25 cm/año; 0,98 cm/año y 0,68 cm/año respectivamente. A partir de datos ofrecidos por INIA (2019) se calculó un IMA dap de 1,36 cm/año para plantaciones de 17 años instalada en suelos degradados. Este valor calculado fue superior al promedio de las tres parcelas.

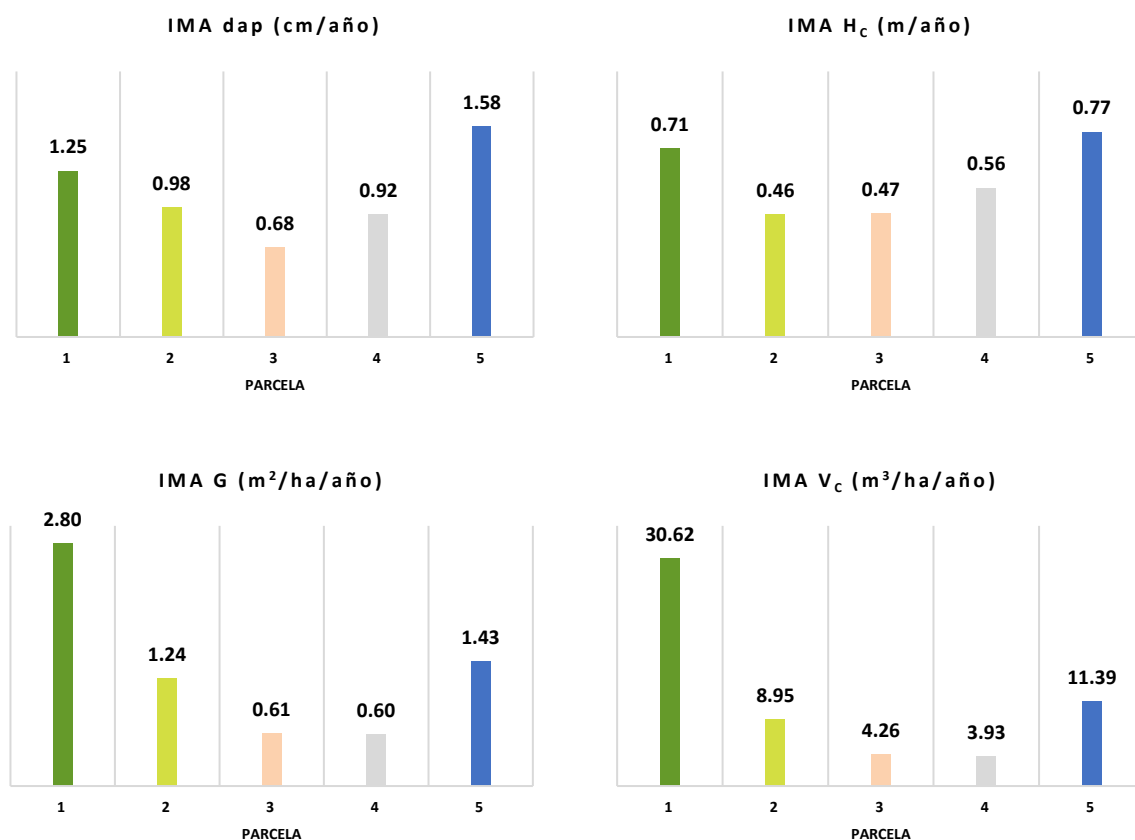


Figura 18: Indicadores de productividad de las cinco parcelas de *Dipteryx ferrea*

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 18 años, obtuvo un IMA dap de 0,92 cm/año. Párraga (2019) reporta para un sistema agroforestal de 15 años instalado a un distanciamiento de 20 m x 20 m un IMA dap de 1,3 m/año; mayor al de la parcela 4.

La parcela 5, instalada en una plantación pura de 15 años, obtuvo un IMA dap de 1,58 cm/año. Párraga (2019) reporta para plantaciones puras de 15 años, instaladas a un distanciamiento de 5 m x 5 m, un IMA dap de 1,33 m/año. Flores (2019) indica para plantaciones de 9 años en suelos gleysoles en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt un IMA dap de 1,55 cm/año. Ambos reportes fueron menores al IMA dap de la parcela 5.

En relación al IMA altura comercial, la parcela 1 presentó el mayor valor (0,71 m/año); seguida de las parcelas 3 y 2, con 0,47 m/año y 0,46 m/año. A partir de datos ofrecidos por INIA (2019) se calculó un IMA altura total de 0,76 m/año para plantaciones de 17 años instalada en suelos degradados.

La parcela 4 presentó 0,56 m/año. Con datos ofrecidos por Párraga (2019) se calculó un IMA altura comercial de 0,72 m/año; que resultó superior mayor al de la parcela 4.

Por último, la parcela 5 presentó 0,77 m/año. Con datos ofrecidos por Párraga (2019) se calculó un IMA altura comercial de 0,61 m/año; que resultó menor al de la parcela 5.

Con respecto a la IMA G, de las parcelas de 23 años, la parcela 1 obtuvo el mayor valor (2,80 m<sup>2</sup>/ha/año); seguida de las parcelas 2 y 3, con 1,24 m<sup>2</sup>/ha/año y 0,61 m<sup>2</sup>/ha/año. La parcela 1 presentó un IMA G notoriamente superior porque fue la parcela de mayor crecimiento diamétrico y con mayor densidad. Entre las parcelas 2 y 3, de similares densidades, influyó en el resultado de IMA G el crecimiento diamétrico.

Con datos publicados por INIA (2019) se calculó para una plantación pura de 17 años un IMA G de 0,93 m<sup>2</sup>/ha/año; que sólo supera al resultado de la parcela 3.

La parcela 4, de 18 años, presentó un IMA G de 0,60 m<sup>2</sup>/ha/año. Este valor fue similar IMA G de la parcela 3; que tuvo una mayor densidad, pero un menor crecimiento diamétrico. A partir de datos ofrecidos por INIA (2019) se calculó para un sistema agroforestal de 15 años un IMA G de 1,14 m<sup>2</sup>/ha/año; que fue mayor al de la parcela 4.

La parcela 5, de 15 años, obtuvo un IMA G de 1,43 m<sup>2</sup>/ha/año, superior al resultado de la parcela 2, de mayor densidad y edad. El IMA G de la parcela 5 fue superior a los 0,93 m<sup>2</sup>/ha/año, calculados con datos que INIA (2019) señala para una plantación pura de 17 años.

En relación al IMA V<sub>c</sub>, la parcela 1 obtuvo 30,62 m<sup>3</sup>/ha/año, seguida de las parcelas 2 y 3 con 8,95 m<sup>3</sup>/ha/año y 4,26 m<sup>3</sup>/ha/año. El resultado mayor de la parcela 1 se debe; además del crecimiento diamétrico y su densidad, a su altura comercial; superior a las demás.

Para IMA volumen total, INIA (2019) reporta 5,8 m<sup>3</sup>/ha/año en una plantación pura de 17 años, instaladas en suelos degradados.

La parcela 4 obtuvo 3,93 m<sup>3</sup>/ha/año. Este resultado responde principalmente a su menor densidad, característico en sistemas agroforestales. INIA (2019) reporta para un sistema agroforestal con *T. cacao* de 15 años un IMA volumen total de 7,2 m<sup>3</sup>/ha/año. Para comparar estos resultados se requiere conocer la densidad, dato que no fue ofrecido por INIA (2019).

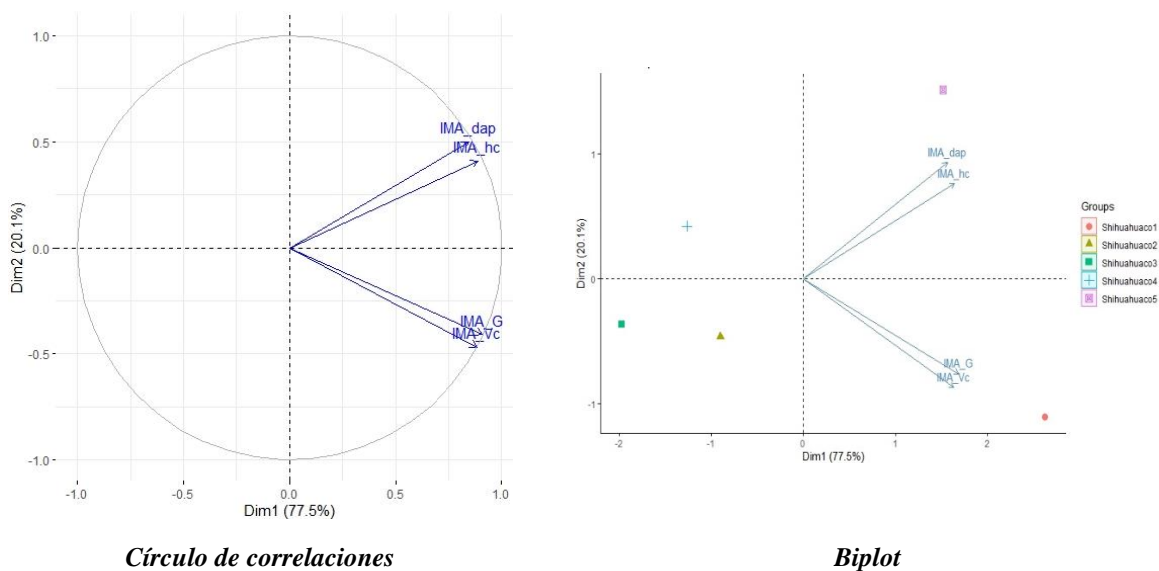
La parcela 5 obtuvo 11,39 m<sup>3</sup>/ha/año, superior al resultado de las parcelas 2 y 3 que fueron de mayor edad y de mayor densidad.

Para IMA volumen total en plantaciones de 9 años, Flores (2019) reporta 39,21 m<sup>3</sup>/ha/año.

El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 97,6 por ciento de la varianza de los datos (Figura 19). El círculo de correlaciones mostró que los cuatro indicadores estuvieron directamente correlacionados. Cabe precisar que entre IMA dap e IMA h<sub>c</sub>; y entre el IMA G e IMA V<sub>c</sub>, la correlación fue más alta. El biplot mostró que la representatividad de los indicadores de productividad varió según la parcela. De esta manera, el IMA dap e IMA h<sub>c</sub> fueron



representativos para la parcela 5; y el IMA G e IMA V<sub>c</sub> fueron representativos para la parcela 1. En el caso de las parcelas 2, 3 y 4 ninguno de los indicadores tuvo una representatividad resaltante.



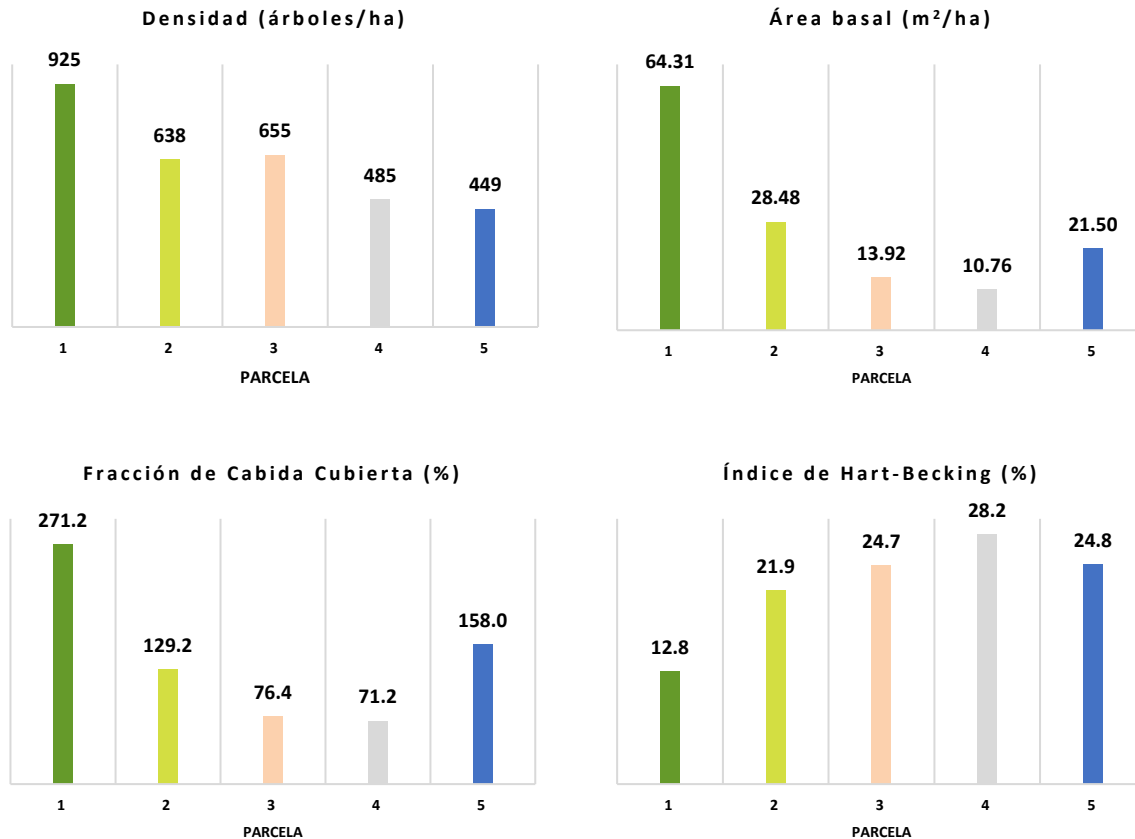
**Figura 19: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de *Dipteryx ferrea***

#### 4.3.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Dipteryx ferrea*

En la Figura 20 se muestra los resultados de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal evaluados en las cuatro parcelas de *D. ferrea*.

Las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en plantaciones puras de 23 años, tuvieron un área basal de 64,31 m<sup>2</sup>/ha, 28,48 m<sup>2</sup>/ha y 13,92 m<sup>2</sup>/ha respectivamente. Sus densidades fueron 925 árboles/ha, 638 árboles/ha y 655 árboles/ha.

Para una plantación de 17 años instalada en suelos degradados bajo un distanciamiento de 5 m x 5 m INIA (2019) reportó un área basal de 15,87 m<sup>2</sup>/ha.



**Figura 20: Indicadores de espesura de masa forestal de las cinco parcelas de *Dipteryx ferrea***

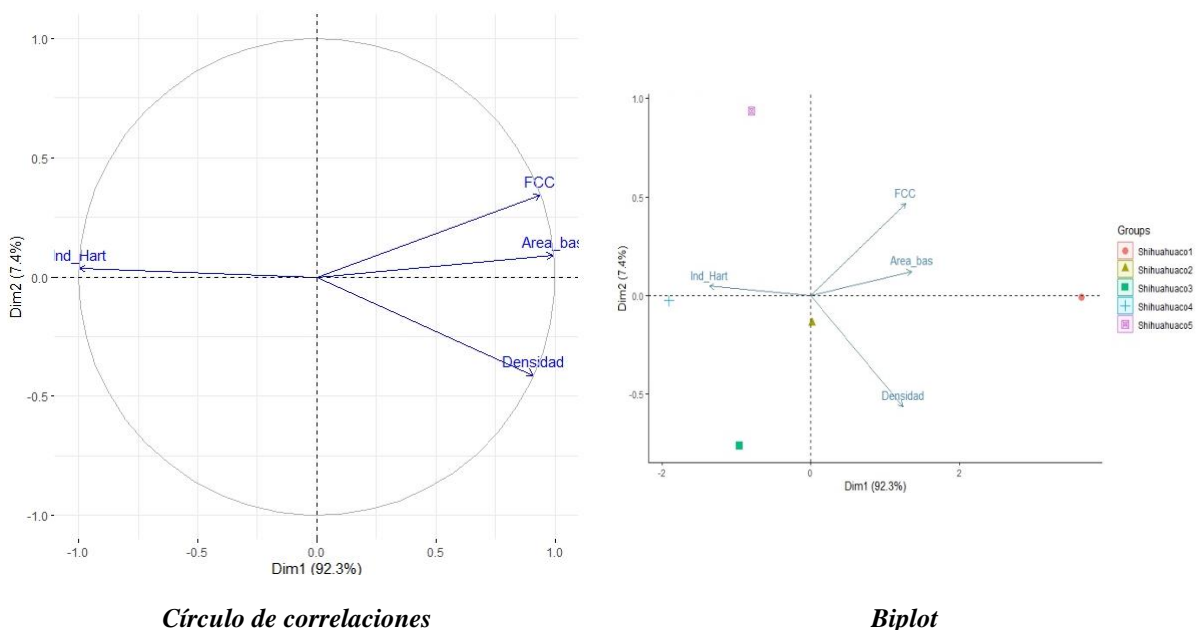
La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 18 años, tuvo un área basal de 10,76 m<sup>2</sup>/ha y una densidad de 485 árboles/ha. En un sistema agroforestal de 15 años donde se instalaron diferentes especies forestales (entre ellas *D. ferrea*) a un distanciamiento de 5 m x 5 m, INIA (2019) reporta un área basal de 17,05 m<sup>2</sup>/ha.

La parcela 5, instalada en una plantación pura de 15 años, presentó un área basal de 21,5 m<sup>2</sup>/ha y una densidad de 449 árboles/ha. Flores (2019) reporta en plantaciones de 9 años en suelos gleysol en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt. área basal 41,70 m<sup>2</sup>/ha. No ofrece datos de densidad.

De acuerdo a la clasificación de espesura de masa en base al área basal propuesta de Gonzáles (2011), la parcela 1 calificó como espesura trabada; la parcela 2 calificó como espesura normal; la parcela 3 y 5 calificaron como espesura defectiva; y la parcela 4 calificó 4 espesura clara.

De acuerdo a las categorías de FCC propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), todas las parcelas calificaron como arbolado cerrado.

De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado por Prodan *et al.* (1997), la parcelas 1 califica como una plantación que recibió raleo insuficiente; mientras que las parcelas 2, 3, 4 y 5 calificaron como plantaciones que recibieron un raleo intenso.



**Figura 21: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Dipteryx ferrea***

El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,7 por ciento de la varianza de los datos (Figura 21). El círculo de correlaciones mostró que la densidad, el área basal y la FCC estuvieron

directamente correlacionadas; y que estos tres indicadores estuvieron inversamente correlacionados con el Índice de Hart-Becking. El biplot mostró que el área basal fue un indicador representativo en la parcela 1, así como el Índice de Hart-Becking fue representativo para la parcela 4. Para las parcelas 2, 3 y 5 ningún indicador fue determinante en la caracterización de su espesura de masa forestal.

#### 4.3.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Dipteryx ferrea*

Finalmente, en la Tabla 21 se presenta los resultados de pH y textura del suelo de las cinco parcelas evaluadas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe, y la clasificación de Conti, respectivamente.

**Tabla 21. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Dipteryx ferrea***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1*	4,6	Fuertemente ácido	Arcilloso	Fina
2*	4,6	Fuertemente ácido	Arcilloso	Fina
3*	4,6	Fuertemente ácido	Arcilloso	Fina
4*	5,9	Medianamente ácido	Franco arcilloso	Media
5*	4,8	Fuertemente ácido	Franco	Moderadamente gruesa

\* FAO *et al.* (2009)

Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en plantaciones puras de 23 años de edad. Los resultados de crecimiento y productividad mostraron que la parcela 1 presentó valores mayores; seguida de las parcelas 2 y 3. En cuanto a la espesura de masa forestal, las tres parcelas presentaron una espesura de normal a excesiva.

La parcela 4 se instaló en sistema agroforestal de 18 años de edad. El crecimiento y productividad de esta parcela fue mayor al de la parcela 3 pero menor a las parcelas 1 y 2. En cuanto a la espesura de masa forestal, la parcela 4 presentó una espesura de defectiva a normal. La parcela 5 se instaló en una plantación pura de 15 años de edad. El crecimiento y productividad de esta parcela fue mayor a de las parcelas 2, 3 y 4 pero menor a la parcela 1. En cuanto a la espesura de masa forestal, la parcela 5 presentó una espesura de normal a excesiva.

Al comparar los valores de crecimiento y productividad de las cinco parcelas con datos publicados en otras investigaciones se observaron resultados variados. Las parcelas 2, 3 y 4 presentaron valores menores. La parcela 1 presentó valores similares. La parcela 5 presentó valores mayores.

Esta variedad de resultados se relaciona a la capacidad de la especie para desarrollarse en un amplio rango de tipos de suelos. De acuerdo a Flores (2019), *D. ferrea* puede crecer tanto en suelos pobres y ácidos como en suelos ricos en nutrientes. Asimismo, puede desarrollarse en suelos desde moderadamente arenosos hasta muy arcillosos, siempre y cuando presenten buen drenaje.

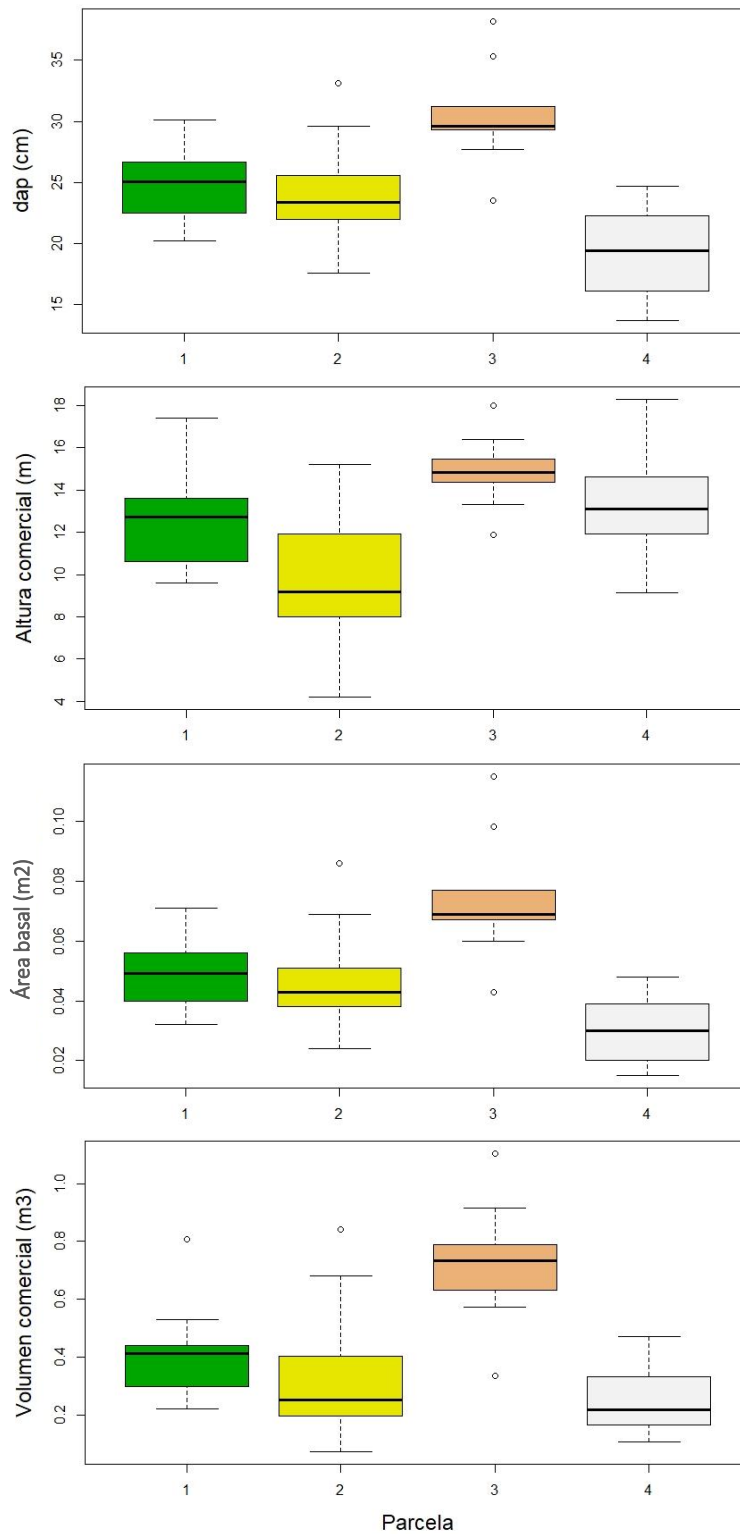
Si se observa Tabla 21 se puede observar la variedad de condiciones de pH y textura de los suelos de las plantaciones evaluadas.

#### **4.4 *GUAZUMA CRINITA* MARTIUS - “BOLAINA”**

##### **4.4.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Guazuma crinita***

La figura 22 muestra los diagramas de cajas de los indicadores de crecimiento para las cuatro parcelas de *G. crinita* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*.

En general, se pudo observar que, de las tres primeras plantaciones -de 11 años de edad e instaladas en plantaciones puras- la parcela 3 presentó mayores valores de crecimiento.



**Figura 22: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Guazuma crinita***

Asimismo, estas tres parcelas tuvieron un mayor crecimiento que la parcela 4 -de 8 años de edad e instalada en un sistema agroforestal- excepto en altura comercial, donde parcela 4 obtuvo mayores resultados que la parcela 1 y 2. Ello pudo deberse a la mayor densidad de la parcela 4 (Figura 27). Basantes (2016) y Klepac (1983) señalan que, a mayores densidades, los árboles crecen más rápido en altura respecto a masas más aclaradas. Cabe indicar que la parcela 4 tuvo mayor densidad que las parcelas 1,2 y 3; a pesar de haber sido instalada en un sistema agroforestal.

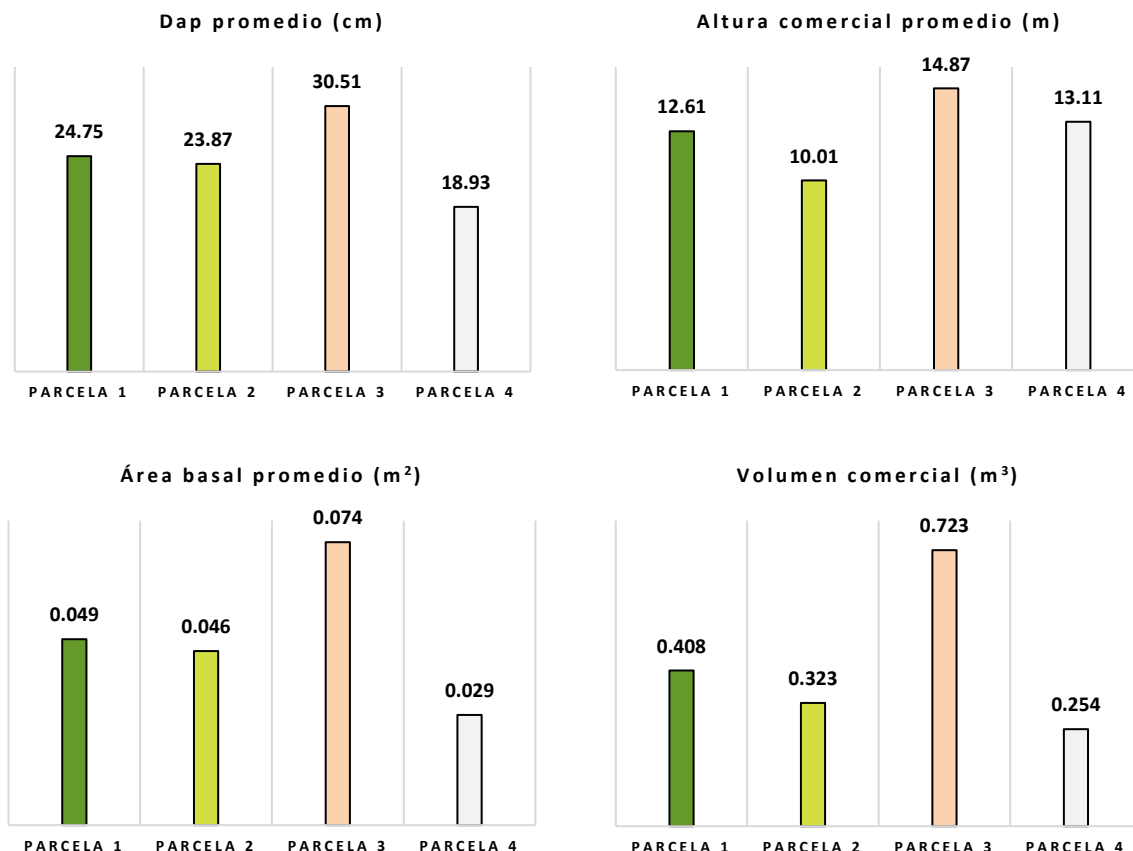
El bajo rango intercuartil (en especial en la parcela 3) indicó que, en general, el crecimiento de los árboles en estas plantaciones fue relativamente uniforme. Sin embargo, la presencia de datos atípicos en las parcelas 1, 2 y 3 mostró que estas plantaciones presentaron algunos árboles con crecimiento diferenciado. La parcela 4 no presentó datos atípicos, pero sí mayores rangos intercuartiles (sobre todo en dap), mostrando menor uniformidad en el crecimiento de los árboles.

La figura 23 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *G. crinita* evaluadas.

En relación al dap promedio, el resultado de la parcela 3 fue mayor que las parcelas 1 y 2, ambas con un dap promedio similar. La prueba *t* de Student (Tabla 22) demostró que no existió diferencia significativa entre los dap de las parcelas 1 y 2. Asimismo, la parcela 4 obtuvo un dap promedio menor a las tres primeras parcelas; probablemente por tener menor edad de plantación. La prueba *t* de Student demostró que existió diferencia significativa entre el promedio de la parcela 4 y las otras parcelas.

El dap promedio de 30,51 cm de la parcela 3, de 11 años de edad, fue mayor a los resultados obtenidos por Guerra *et al.* (2008) en su estudio de modelos matemáticos para la estimación del volumen comercial del árbol en pie de *G. crinita*, procedente de plantaciones en fajas de 18 años de edad instaladas en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt en la provincia de Padre Abad (departamento de Ucayali). Ellos encontraron que en fajas de 5 m de ancho la especie alcanzó un dap promedio de 28,26 cm; y en fajas de 10 m de ancho alcanzó un dap promedio

de 22,38 cm. Sólo las fajas de 30 m de ancho (dap promedio de 31,26 cm) obtuvieron un dap promedio mayor a la parcela 3.



**Figura 23: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Guazuma crinita***

Si bien las parcelas 1 y 2 (dap promedio de 24,75 cm y 23,87 cm respectivamente) tuvieron un resultado numéricamente menor a los reportados por Guerra *et al.* (2008); al considerar la edad de plantación, se pudo asumir que los árboles de *G. crinita* de estas parcelas tuvieron un ritmo de crecimiento mayor.

El dap promedio de la parcela 4, de 8 años, fue 18,93 cm. Dicho resultado fue menor al reportado por Becerra (2016) para un sistema agroforestal con cacao (*T. cacao*) de 7 años en Tingo María (departamento de Huánuco). Encontró para un distanciamiento entre árboles de 24 m x 3 m un dap promedio de 23 cm. También fue menor al reportado por Ascencio (2018) para un sistema



agroforestal de 10 años instalado en la provincia de Leoncio Prado (departamento de Huánuco). Registró para un distanciamiento de 25 m x 3,5 m entre árboles un dap promedio de 26,32 cm. En relación a la altura comercial se observó que la parcela 3 obtuvo el mayor promedio; seguida de la parcela 4. Las parcelas 1 y 2 tuvieron el menor promedio a pesar de tener mayor edad que la parcela 4. La prueba *t* de Student mostró que existió diferencia significativa entre todas las parcelas, excepto entre las parcelas 1 y 4 (Tabla 22).

La altura comercial promedio de la parcela 3 (14,78 m), de la parcela 4 (13,11 m) y de la parcela 1 (12,61 m); de 11 años, 8 años y 11 años respectivamente, fueron mayores a la altura total promedio reportada por Odocio (2017) para un rodal semillero de *G. crinita* del INIA-Pucallpa de 12 años de edad; que fue de 12,5 m.

Por otro lado, los resultados de Guerra *et al.* (2008) para plantaciones en fajas de 18 años de edad en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt fueron mayores que los resultados de las parcelas 1, 2 y 3 (de 11 años de edad). En fajas de 5 m registraron una altura comercial promedio de 16,57 m; para fajas de 10 m registraron una altura comercial promedio de 16,05 m; y para fajas de 30 m reportaron una altura comercial promedio de 18,03 m.

La altura comercial promedio de la parcela 4 (13,11 m), instalada en un sistema agroforestal de 8 años, resultó menor a la reportada por Ascencio (2018) para un sistema agroforestal de 10 años de edad; que fue de 18,42 m.

El área basal presentó un comportamiento similar al dap. La parcela 3 obtuvo un mayor crecimiento que las parcelas 1 y 2. A su vez, estas tres parcelas tuvieron un área de sección normal promedio mayor a la parcela 4. La prueba *t* de Student (Tabla 22) demostró que existió diferencia significativa entre los promedios del área basal de las parcelas, excepto entre los promedios de las parcelas 1 y 2.

Delgado (2019) evaluó el efecto del raleo en el crecimiento de plantaciones de *G. crinita* en Puerto Inca (departamento de Huánuco). Para plantaciones raleadas de 5,5 años de edad obtuvo

un área de sección normal de 0,045 m<sup>2</sup>. La parcela 3, de 11 de años de edad, obtuvo un área de sección normal promedio de 0,074 m<sup>2</sup>, que resultó mayor al reportado por Delgado (2019).

La parcela 4, de 8 años de edad e instalada en un sistema agroforestal, obtuvo un área de sección normal de 0,029 m<sup>2</sup>. Este resultado fue similar al reportado por Delgado (2019) para plantaciones de *G. crinita* de 5,5 años de edad sin raleo; que fue de 0,025 m<sup>2</sup>.

En relación al volumen comercial se observó que la parcela 3 tuvo un promedio notoriamente superior. La parcela 4 resultó la de menor volumen comercial promedio. La prueba *t* de Student (Tabla 22) demostró que existió diferencias significativas en el promedio de volumen comercial de todas las parcelas; excepto entre la 1 y 2; y entre la 2 y 4.

La parcela 3, de 11 años de edad, tuvo un volumen comercial promedio de 0,723 m<sup>3</sup>. Este resultado fue similar al obtenido por Guerra *et al.* (2008) en plantaciones en fajas de 5 m de 18 años de edad en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt (0,782 m<sup>3</sup>).

La parcela 2, de 11 años de edad, obtuvo un volumen comercial promedio de 0,323 m<sup>3</sup>. Este resultado fue menor al obtenido por Postigo (2018) en su evaluación del turno de rotación para plantaciones de *G. crinita* de 5 años de edad instaladas en el distrito de Kcosñipata, provincia de Paucartambo (departamento de Cusco); que fue de 0,348 m<sup>3</sup>.

La parcela 1, de 11 años de edad, obtuvo un volumen comercial promedio de 0,408 m<sup>3</sup>. Este resultado fue menor al reportado por Ascencio (2018) para un lindero con *G. crinita* de 10 años de edad instalado con un distanciamiento entre árboles de 3 m. Para esta plantación el volumen comercial promedio fue de 0,460 m<sup>3</sup>.

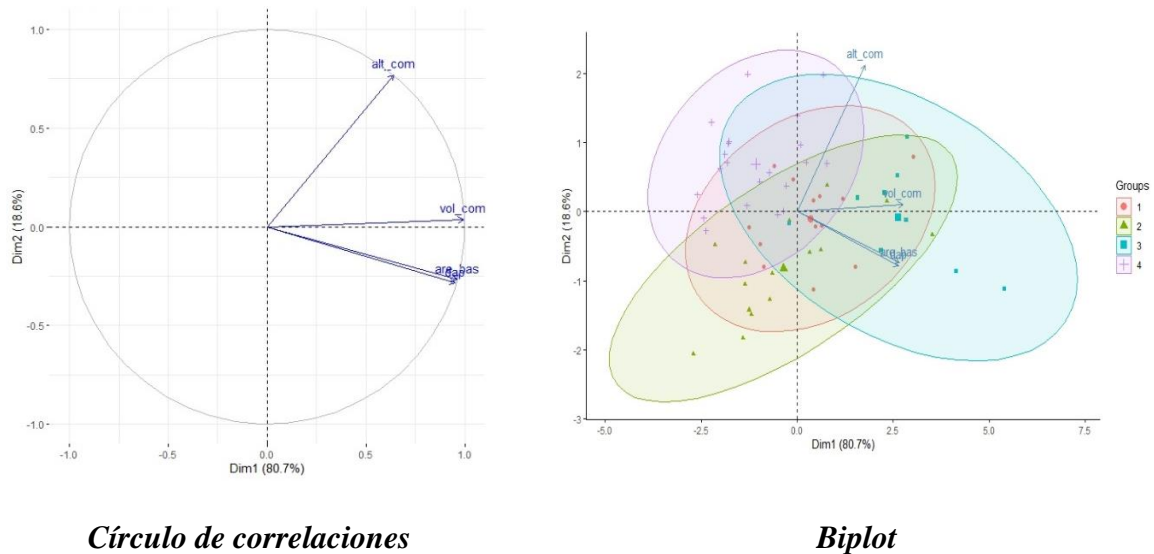
La parcela 4, de 8 años de edad, tuvo un volumen comercial promedio de 0,254 m<sup>3</sup>. Ascencio (2018) reportó para sistemas agroforestales con *G. crinita* de 10 años de edad un volumen comercial promedio de 0,610 m<sup>3</sup>; mayor al de la parcela 4.

**Tabla 22: Prueba *t* de Student para los indicadores de crecimiento de *Guazuma crinita***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor		p valor		p valor		p valor	
1 - 2	0.518	n.s.	0.021	*	0.585	n.s.	0.242	n.s.
1 - 3	0.001	*	0.015	*	0.002	*	0.001	*
1 - 4	0.000	*	0.515	n.s.	0.000	*	0.002	*
2 - 3	0.001	*	0.000	*	0.001	*	0.000	*
2 - 4	0.000	*	0.002	*	0.000	*	0.219	n.s.
3 - 4	0.000	*	0.046	*	0.000	*	0.000	*

El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,3 por ciento de la varianza de los datos (Figura 24). El círculo de correlaciones mostró que el dap, el área de sección normal y el volumen comercial estuvieron correlacionados. El biplot mostró la similitud de las parcelas 1 y 2; cuyas elipses se encontraron superpuestas en alto porcentaje. Asimismo, las elipses de las parcelas 3 y 4, al alejarse de las demás, mostraron la diferencia en crecimiento de estas parcelas.

También, se observó que el crecimiento de la mayoría de los individuos de la parcela 3 se caracterizó por su mayor crecimiento en dap, área basal y volumen comercial. Caso contrario fueron la mayoría de individuos de la parcela 4, cuyos resultados fueron menores para estos tres indicadores.

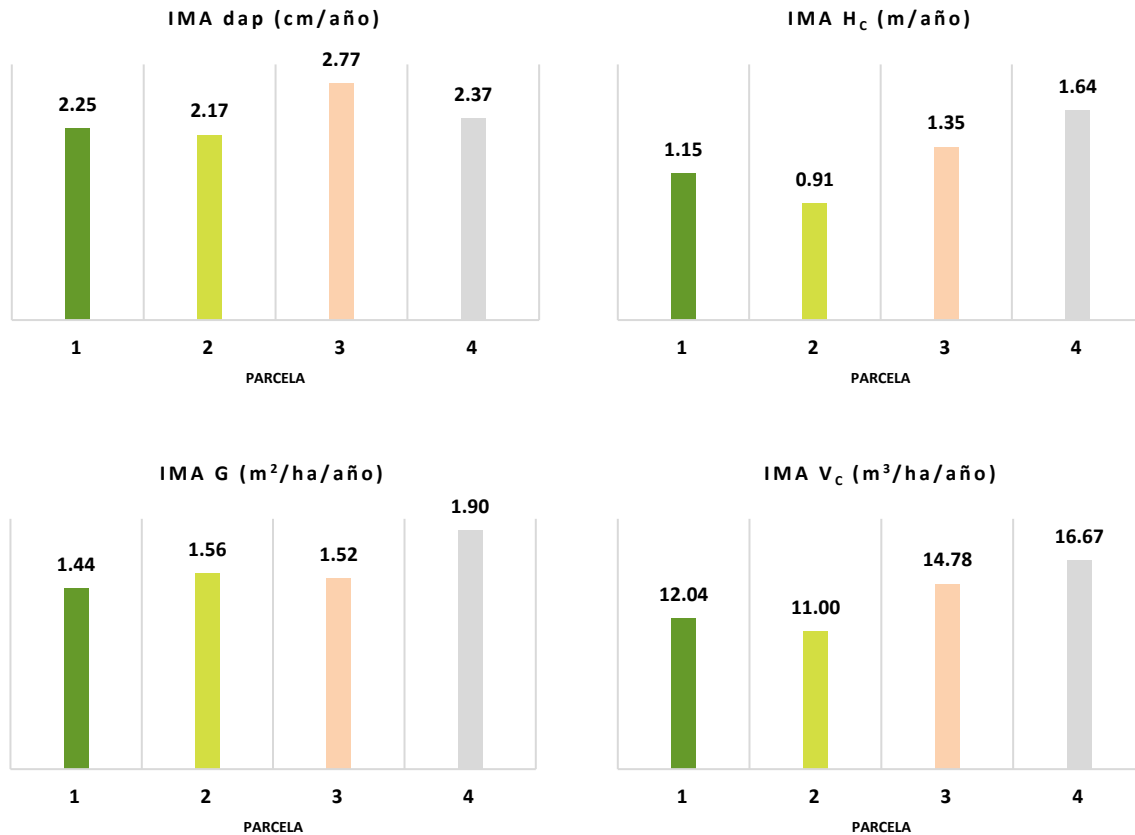


**Figura 24: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para *Guazuma crinita***

#### 4.4.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Guazuma crinita*

La Figura 25 muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las parcelas de *G. crinita*.

Las parcelas 1, 2 y 3, establecidas en plantaciones puras de 11 años de edad, obtuvieron un IMA dap que varió de 2,17 cm/año a 2,77 cm/año. Al comparar estos resultados con otras investigaciones se observó que el IMA dap de las tres parcelas fue similar a los mínimos reportados para esta especie. Por ejemplo, Ugarte y Román (2020) evaluaron plantaciones de *G. crinita* en cuatro departamentos del Perú. Para el departamento de Ucayali determinaron un IMA dap de 1,8 cm/año; para el departamento de Pasco de 3,5 cm/año; para el departamento de Huánuco de 3,7 cm/año; y para el departamento de San Martín de 4 cm/año. Delgado (2019) reportó para plantaciones puras de 5,5 años raleadas un IMA dap 3,41 cm/año; y para plantaciones puras de 5,5 años sin raleo, un IMA dap de 2.55 cm/año. Laura (2018) evaluó plantaciones puras de *G. crinita* de 5 años de edad en Puerto Inca (departamento de Huánuco) y registró un IMA dap de 3,0 cm/año.



**Figura 25: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de *Guazuma crinita***

Cabe señalar que Dávila (2020), a partir de estudios dendrocronológicos de individuos de *G. crinita* procedentes de bosques naturales de la provincia de Tambopata (departamento de Madre de Dios), obtuvo un IMA dap de 1,1 cm/año. Los resultados obtenidos en plantaciones resultaron mayores a este reporte de bosques naturales.

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 8 años de edad, tuvo un IMA dap de 2,37 cm/año. Villachica et al. (1993), citados por Laura (2018), reportaron para sistemas agroforestales con *G. crinita* instalados en el valle de Chanchamayo un IMA dap de 4 cm/año. A partir de los datos señalados por Ascencio (2018) para sistemas agroforestales de 10 años de edad establecidos a un distanciamiento de 25 m x 3,5 m en la provincia de Leoncio Prado (departamento de Huánuco), se calculó un IMA dap de 2,63 cm/año. Con los datos reportados por Becerra (2016) para sistemas agroforestales de 7 años de edad, instalados en Tingo María

(departamento de Huánuco), que luego del segundo raleo alcanzaron un distanciamiento de 24 m x 3 m, se calculó un IMA dap de 3,29 cm/año. Se pudo observar que el IMA dap de la parcela 4 resultó menor a los reportados en otros estudios.

Se debe tomar en cuenta que incremento anual en diámetro disminuye gradualmente con la edad (Klepac 1983). Ello implicaría que, para comparar el crecimiento diamétrico de dos o más plantaciones, sus edades no deberían tener una gran diferencia.

El IMA  $h_c$  de las parcelas 1, 2 y 3, establecidas en plantaciones puras de 11 años de edad, varió de 0,91 m/año a 1,35 m/año. Se han publicado datos sobre incrementos medios anuales en altura total. Por ejemplo, Delgado (2019) registró un IMA altura total de 3,76 m/año en plantaciones de 5,5 años de edad con raleo; y registró un IMA altura total de 2,89 m/año para plantaciones de la misma edad, pero sin raleo. Laura (2018) determinó para plantaciones de 5 años de edad un IMA altura total de 3,4 m/año. A partir de los datos de altura total documentados por Odocio (2017) para un huerto semillero de 12 años de edad, se calculó un IMA altura total de 1,04 m/año. Con los datos de altura total reportados por Urbina (2017) para una plantación de *G. crinita* de 4 años de edad, se calculó una IMA altura total de 2,36 m/año.

La parcela 4, establecida en un sistema agroforestal de 8 años de edad, obtuvo un IMA  $h_c$  de 1,64 m/año. A partir de los datos señalados por Ascencio (2018) para sistemas agroforestales de 10 años de edad establecidos a un distanciamiento de 25 m x 3,5 m, se calculó un IMA  $h_c$  de 1,84 m/año. Con los datos reportados por Becerra (2016) para sistemas agroforestales de 7 años de edad, que luego del segundo raleo alcanzaron un distanciamiento de 24 m x 3 m, se calculó un IMA  $h_c$  de 2,04 m/año. Estos valores de IMA  $h_c$  calculados fueron mayores al resultado de la parcela 4.

Se debe tomar en cuenta que para plantaciones forestales coetáneas cerca de su madurez o maduras, el incremento en altura disminuye hasta finalmente cesar (Klepac 1983). Ello implica que plantaciones de mayor edad tendrán incrementos medios anuales en altura menores a plantaciones forestales más jóvenes.

La parcela 2 obtuvo un IMA G de 1,56 m<sup>2</sup>/ha/año; seguida por la parcela 3 (1,52 m<sup>2</sup>/ha/año) y la parcela 1 (1,44 m<sup>2</sup>/ha/año). En este resultado influyó la densidad. La parcela 3 tuvo un dap promedio mayor que las parcelas 1 y 2; sin embargo, su menor densidad hizo que la parcela 2 tuviera un mayor IMA G, a pesar que esta parcela tuvo el menor dap promedio. Estos resultados fueron menores a los calculados a partir de datos reportados en otros estudios. Por ejemplo, a partir de los datos obtenidos por Laura (2018) se calculó un IMA G de 3,04 m<sup>2</sup>/ha/año. Con los datos publicados por Paima (2012) sobre plantaciones instaladas en terraza alta en Itahuania (departamento de Madre de Dios), se calculó el IMA G de 2,31 m<sup>2</sup>/ha/año. La parcela 4 obtuvo un IMA G de 1,9 m<sup>2</sup>/ha/año. Resultó la parcela con mayor IMA G porque tuvo la mayor densidad.

Cabe señalar que el incremento en área basal es más consistente que el incremento en diámetro ya que, a pesar de que el incremento del dap puede permanecer en el mismo nivel, el incremento en área basal aumenta (Klepac 1983).

La parcela 3 obtuvo el mayor IMA V<sub>c</sub> (14,78 m<sup>3</sup>/ha/año); seguida de las parcelas 1 y 2, con 12,04 m<sup>3</sup>/ha/año y 11 m<sup>3</sup>/ha/año respectivamente. Este resultado responde al mayor dap promedio y mayor altura comercial promedio que obtuvo la parcela 3.

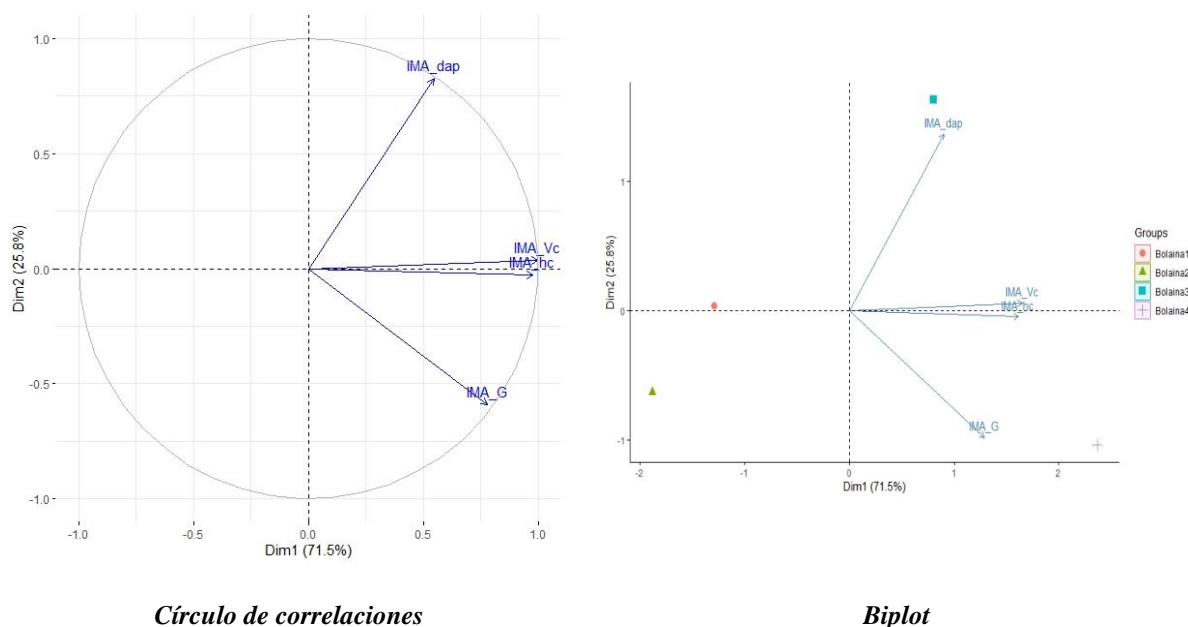
Estos resultados fueron menores a los calculados a partir de datos ofrecidos en otros estudios. Por ejemplo, con datos reportados por Paima (2012) se calculó un IMA V<sub>c</sub> de 20,23 m<sup>3</sup>/ha/año. La parcela 4 obtuvo un IMA V<sub>c</sub> de 16,87 m<sup>3</sup>/ha/año, alcanzando el mayor valor de las cuatro parcelas. Este resultado respondió a su mayor densidad y a su altura comercial promedio.

Con los datos publicados por Becerra (2016) para un sistema agroforestal de 7 años de edad se calculó un IMA V<sub>c</sub> de 5,55 m<sup>3</sup>/ha/año. Si bien este resultado fue menor al obtenido por la parcela 4, el mayor distanciamiento (24 m x 3 m) del sistema agroforestal evaluado por Becerra (2016), influyó en este resultado.

Se debe tomar en cuenta que el incremento en volumen no decrece tan rápidamente como el incremento en altura y diámetro. Esa característica del incremento en volumen se explica por el

hecho que el incremento en diámetro interviene al cuadrado en el incremento en volumen; de tal manera que al disminuir el incremento en diámetro no necesariamente disminuye el incremento en volumen (Klepac 1983).

El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 97,3 por ciento de la varianza de los datos (Figura 26). El círculo de correlaciones mostró que el IMA  $h_c$  e IMA  $V_c$  estuvieron correlacionados. El biplot mostró que el comportamiento de los indicadores de productividad varió en función a la parcela. Así, la productividad de la parcela 3 estuvo caracterizada por el IMA  $dap$  mientras que la productividad de la parcela 4 estuvo caracterizada por el IMA  $G$ . En la productividad de las parcelas 1 y 2 los cuatro indicadores tuvieron poca representatividad, en particular de la IMA  $h_c$  y el IMA  $V_c$ .



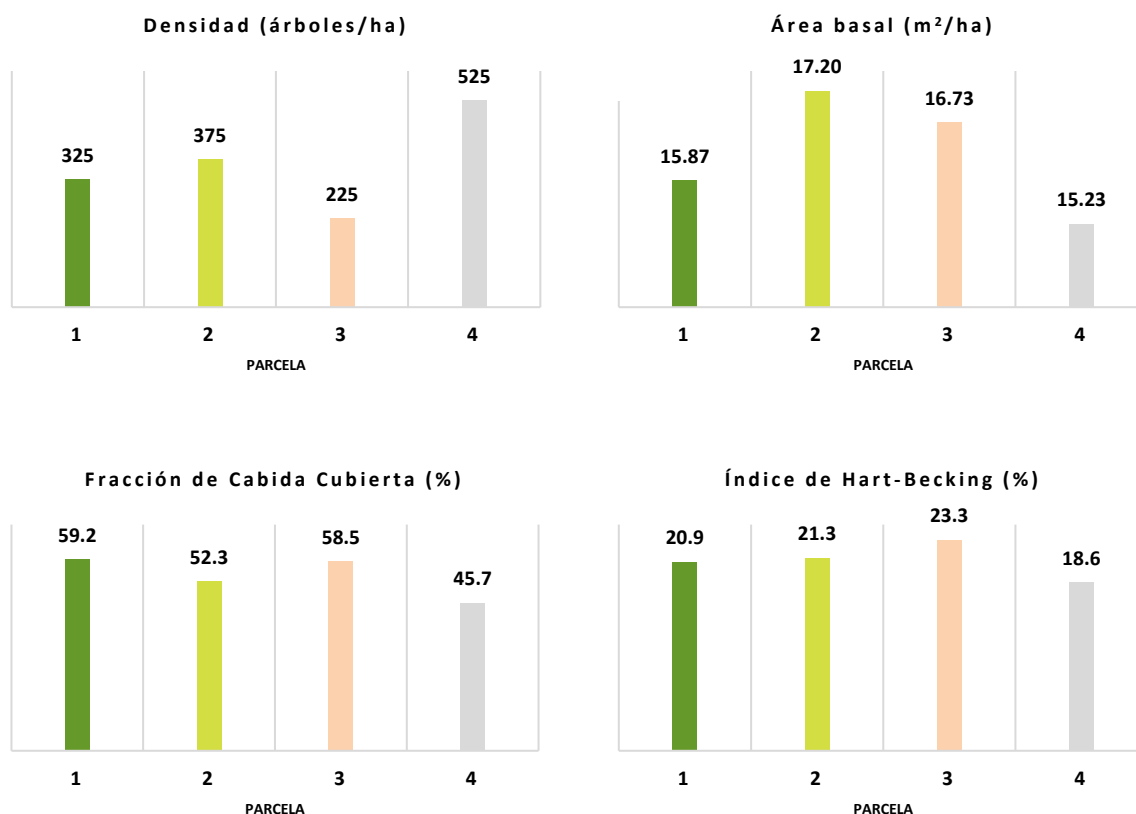
**Figura 26: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de *Guazuma crinita***

#### 4.4.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Guazuma crinita*

La Figura 27 muestra los resultados de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal evaluados en las parcelas de *G. crinita*.



Las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en plantaciones puras de 11 años de edad, obtuvieron un área basal de 15,87 m<sup>2</sup>/ha, 17, 20 m<sup>2</sup>/ha y 16,73 m<sup>2</sup>/ha respectivamente. Sus densidades fueron 325 árboles/ha, 375 árboles/ha y 225 árboles/ha correspondientemente. Cabe subrayar que la parcela 2 obtuvo mayor área basal resultado de su mayor densidad. Asimismo, la parcela 3 tuvo mayor área basal que la parcela 1 a pesar de tener menor densidad; debido a que la parcela 3 tuvo un dap promedio mayor que la parcela 1. La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 8 años de edad, tuvo un área basal de 18,93 m<sup>2</sup>/ha, con una densidad de 525 árboles/ha.



**Figura 27: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de *Guazuma crinita***

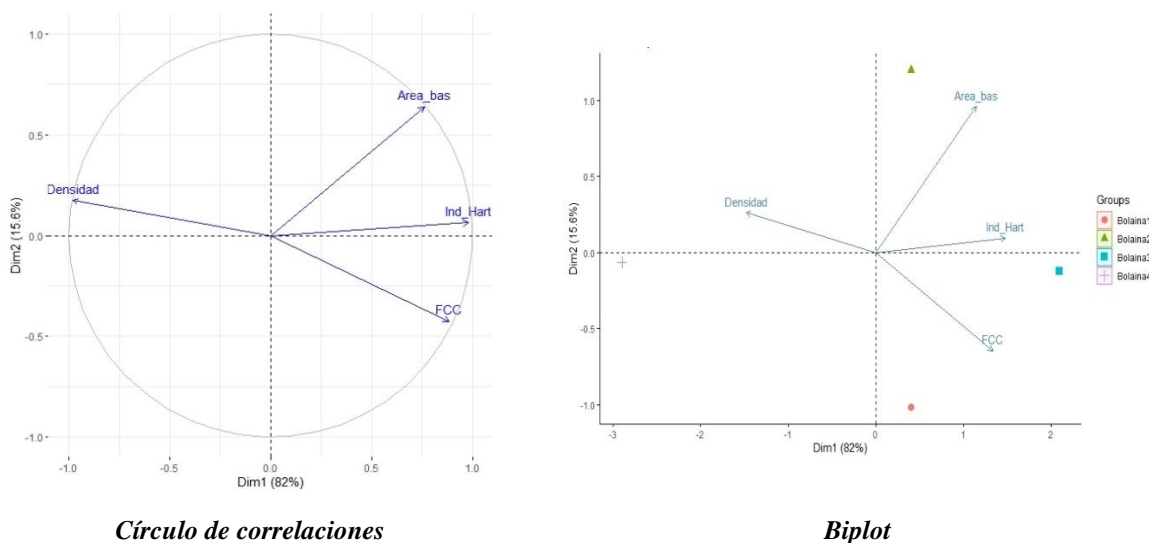
Para poder comparar estos resultados con otras investigaciones se debe tomar en consideración, además del valor de área basal, la densidad de la plantación; dato no reportado muchas veces. Ese es el caso de Laura (2018), que estimó 15,2 m<sup>2</sup>/ha de área basal para plantaciones puras de 5 años de edad, instaladas en Puerto Inca (departamento de Huánuco). También es el caso de

Paima (2012), que evaluó el crecimiento de plantaciones de 3 años de edad instaladas Itahuania (departamento de Madre de Dios). Determinó 8,14 m<sup>2</sup>/ha de área basal para plantaciones instaladas en terraza alta, y 9,65 m<sup>2</sup>/ha de área basal para plantaciones instaladas en terraza media.

De acuerdo a la clasificación de espesura de masa arbórea en base al área basal propuesta por Gonzales (2011), las cuatro parcelas calificaron como de espesura defectiva.

De acuerdo a las categorías de FCC propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), las cuatro parcelas calificaron como arbolado semicerrado.

De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado Ugalde y Gómez (2006), para las parcelas 1, 2 y 3 podría prescribirse un raleo. La parcela 4 aún no requeriría raleo.



**Figura 28: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Guazuma crinita***

El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 97,6 por ciento de la varianza de los datos (Figura 28). El círculo de correlaciones mostró que la FCC e Índice de Hart-Becking se encontraron inversamente correlacionadas con la densidad. El biplot mostró que la espesura de masa forestal

de la parcela 1 estuvo caracterizada por la Facción de Cabida Cubierta; mientras que la parcela 2 estuvo caracterizada por el área basal y la parcela 3 estuvo caracterizada por el Índice de Hart-Becking. Finalmente, la parcela 4 estuvo caracterizada por la densidad.

#### 4.4.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Guazuma crinita*

Finalmente, en la Tabla 23 se presentan los resultados de pH y textura del suelo de las cuatro parcelas evaluadas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe, y la clasificación de Conti, respectivamente.

**Tabla 23. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Guazuma crinita***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1	4.8	Fuertemente ácido	Franco arcilloso	Moderadamente fina
2	4.6	Fuertemente ácido	Franco arcilloso	Moderadamente fina
3	5.3	Medianamente ácido	Franco arcilloso	Moderadamente fina
4	6.4	Ligeramente ácido	Franco arcilloso	Moderadamente fina

Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en plantaciones puras de 11 años de edad. La parcela 3 presentó valores mayores para los indicadores de crecimiento y productividad. Esta plantación se estableció en un suelo medianamente ácido y de textura moderadamente fina.

Las parcelas 1 y 2 obtuvieron valores menores para los indicadores de crecimiento y productividad. Estas plantaciones se establecieron en suelos fuertemente ácidos y de textura moderadamente fina. Los indicadores de espesura de masa forestal mostraron que las tres parcelas tuvieron una espesura defectiva. Al comparar los resultados de crecimiento y

productividad de estas tres parcelas con reportes de otros estudios, se observó que la parcela 3 presentó valores mayores. Por el contrario, las parcelas 1 y 2 presentaron valores menores.

El mayor resultado de la parcela 3 pudo estar relacionado a su menor acidez. Wightman *et al.* (2006) indican que *G. crinita* no se adapta bien a suelos muy ácidos porque es una especie sensible al aluminio. Flores (2019) precisa un rango de pH recomendable que va de 5,0 a 6,0. En relación a la textura del suelo, Wightman *et al.* (2006) indican que *G. crinita* crece bien en suelos francos, franco-arcillosos o arcillosos. Leguía *et al.* (2010) y Flores (2019) también señalan esas clases texturales.

La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 8 años de edad, reportó los menores valores de crecimiento y productividad de las cuatro parcelas; excepto en altura comercial promedio, IMA G e IMA V<sub>c</sub>, donde obtuvo los mayores valores. Este comportamiento responde a su mayor densidad, que influyó en el crecimiento en altura (Basantes (2016) y Klepac (1983)), y en los resultados de IMA G e IMA V<sub>c</sub> (Flores 2010). Los indicadores de espesura de masa forestal mostraron que esta parcela tuvo una espesura defectiva.

Al comparar el resultado de crecimiento y productividad de la parcela 4 con otros estudios similares, se observó que presentó valores de crecimiento y productividad menores. Probablemente se debió a su alta densidad (525 árboles/ha). En ese sentido, Leguía *et al.* (2010) señalan que la especie tiene baja tolerancia a la competencia. Cabe indicar que el pH de la parcela se encontró sobre el rango de pH sugerido por Flores (2019).

#### **4.5 PINUS TECUNUMANII EGUILUZ Y PERRY - “PINO”**

##### **4.5.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Pinus tecunumanii***

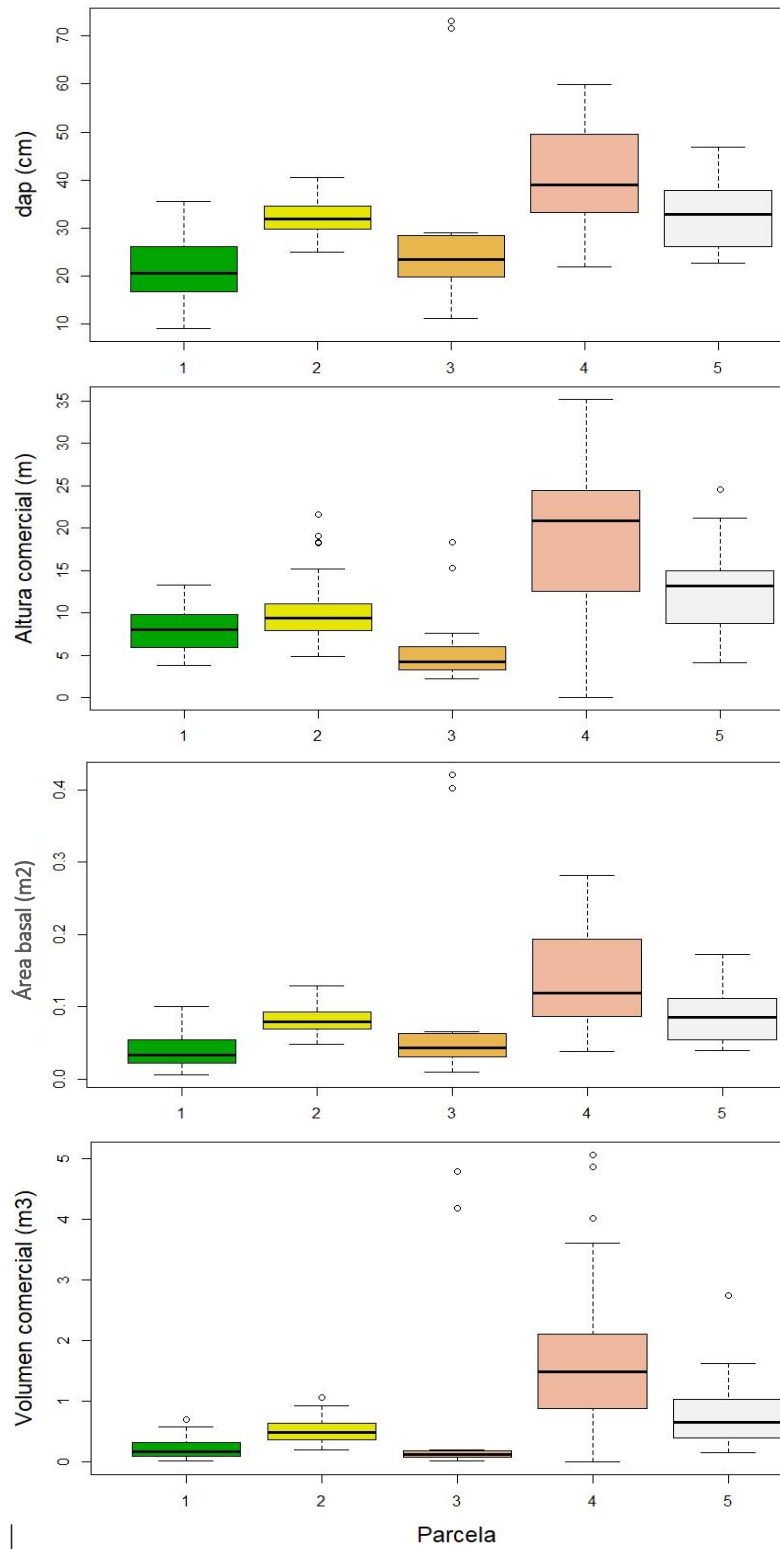
La Figura 29 muestra los diagramas de cajas de los indicadores de crecimiento para las cinco parcelas de *P. tecunumanii* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*. Las parcelas 1, 2 y 3 fueron instaladas en sistemas agroforestales de 11 años de edad. En plantaciones puras se instalaron las parcelas 4 y 5, de 30 y 20 años

respectivamente. Todas plantaciones se localizaron en la provincia de Oxapampa, en el departamento de Pasco.

En general, se pudo observar que las parcelas 4 y 5 presentaron valores mayores para los cuatro indicadores de crecimiento, resultado de su mayor edad. Como señalan Ugarte y Román (2020), la edad de plantación influye en las tasas de crecimiento, entre otros factores. En el caso de las parcelas de 11 años, la parcela 2 presentó los mayores valores.

Por otro lado, las parcelas de mayor edad presentaron valores dispersos para los cuatro indicadores de crecimiento, lo que sugiere que los árboles en estas plantaciones presentaron un crecimiento irregular. En el caso de las plantaciones de 11 años, el menor rango intercuartil de los diagramas de caja sugiere que el crecimiento de los árboles fue uniforme.

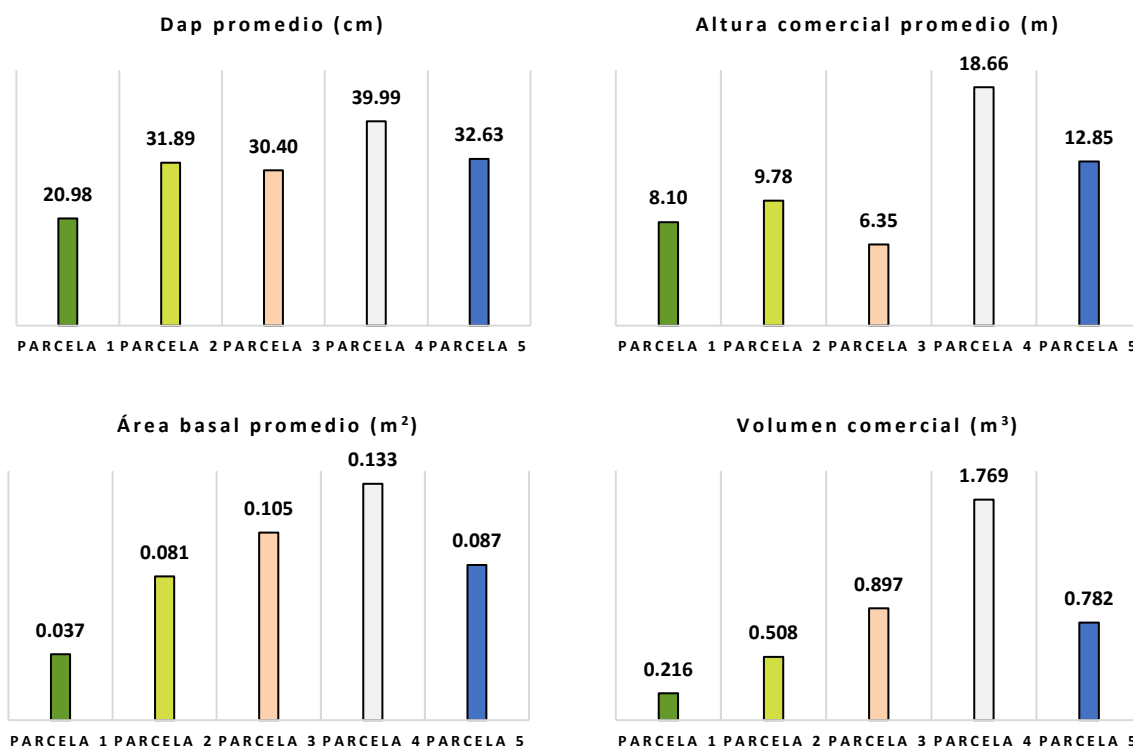
Por último, para el dap, sólo la parcela 2 presentó datos atípicos. Para la altura comercial, las parcelas 2, 3 y 5 presentaron datos atípicos. Para el volumen comercial todas las parcelas presentaron datos atípicos. Ello sugiere la presencia de árboles de grandes dimensiones, que podrían estar constituyendo un estrato superior.



**Figura 29: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de *Pinus tecunumanii***

La Figura 30 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *P. tecunumanii* evaluadas.

De las parcelas de 11 años instaladas en sistemas agroforestales, la parcela 2 presentó el mayor dap promedio (31,89 cm); seguida de las parcelas 3 y 1, con 30,40 cm y 20,98 cm respectivamente. Estos resultados se encontraron dentro del rango de valores de dap indicados en otros estudios. Mendes (2001), citado por Trianoski (2012), reporta un dap promedio de 34,06 cm para plantaciones de 11 años localizadas en Ventania (estado de Paraná, Brasil). Torres *et al.* (2005) determinaron un dap promedio de 21,24 cm en plantaciones de 12 años el Municipio de Yolombó (Colombia). Pelissari *et al.* (2011), citados por Trianoski (2012), obtuvieron un dap promedio de 18,65 m para plantaciones de 12 años localizadas en Rondônia (Brasil). Sebbenn *et al.* (2005), citados por Trianoski (2012), evaluaron plantaciones de 14 años en el noroeste de São Paulo y determinaron un dap medio que varió de 26,47 cm a 28,58 cm.



**Figura 30: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de *Pinus tecunumanii***

Para el caso de las parcelas instaladas en plantaciones puras, la parcela 4 - de 30 años - presentó un dap promedio de 39,99 cm; y la parcela 5 - de 20 años – un dap promedio 32,63 cm. Estos resultados se encontraron dentro del rango de valores de dap indicados en otros estudios. Montoya (2017) evaluó plantaciones puras en la Estación Experimental La Favorita en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador); determinando un dap promedio de 40,63 cm. Trianoski, (2009) estudió plantaciones experimentales en Ventania (estado de Paraná, Brasil), estableciendo un dap promedio de 46 cm. De Souza (2015) determinó un dap promedio de 25,70 cm para ensayos de comportamiento de procedencias de *P. tecunumanii* de 21 años localizados la región de Assis en el estado de São Paulo (Brasil).

En cuanto a la prueba *t* de Student (Tabla 24), se demostró estadísticamente que existió diferencias significativas entre los promedios de dap de la parcela 1 y las demás parcelas. Asimismo, los promedios de dap de las parcelas 2 y 3 no presentaron diferencias significativas; como tampoco las parcelas 2 y 5; 3 y 4; y 3 y 5.

En relación a la altura comercial promedio, la parcela 2 presentó 9,78 m; seguida de las parcelas 1 y 3, con 6,35 m y 8,10 m. El menor resultado de la parcela 3 pudo relacionarse a la menor densidad del sistema agroforestal donde fue instalada (55 árboles/ha). Aunque Fetzer (2014) señala que la densidad de plantación no influyó en el crecimiento en diámetro y altura en plantaciones de *Pinus maximinoi* y *Pinus chiapensis* localizadas en Alta Verapaz (Guatemala). Asimismo, Costas *et al.* (2001) indicaron que el aumento de la densidad en plantaciones de *Pinus taeda* produjo menores dap y volúmenes individuales, pero no tuvo incidencia estadística significativa en la altura promedio.

Los valores presentados por la parcela 1 y 2 fueron mayores a los registros de Barturén (2018) en su evaluación plantaciones de *P. tecunumanii* instaladas en el marco del Proyecto de reforestación de la microcuenca San Miguel de las Naranjas (departamento de Cajamarca), donde determinó una altura comercial de 7,57 m para árboles de 9 años de edad.

Diversas investigaciones ofrecen reportes sobre altura total de la especie en plantaciones de edades similares a las parcelas 1, 2 y 3. Torres *et al.* (2005) determinó una altura total promedio



de 21,25 m para plantaciones de 12 años en el Municipio de Yolombó (Colombia). Mendes (1983), citado por Trianoski (2012), señala una altura total promedio de 21,25 m en plantaciones en Ventania (estado de Paraná, Brasil). Melo y Colodette (2005), citados por Trianoski (2012), registraron para plantaciones de 12 años una altura total promedio de 21,44 m. Pelissari *et al.* (2011), citados por Trianoski (2012), determinaron una altura promedio de 19,77 m para plantaciones de 12 años localizadas en Rondônia (Brasil).

Las parcelas 4 y 5 presentaron una altura comercial promedio de 18,66 m y 12,85 m respectivamente. En estudios en plantaciones de edades similares reportaron resultados de altura total. De Souza (2015) señala que a los 21 años *P. tecunumanii* alcanza una altura total promedio de 18,22 m. Montoya (2017) determinó para plantaciones de 29 años de edad una altura total promedio de 21 m. Para plantaciones de 18 años Trianoski (2009) señala una altura total promedio de 25,9 m.

La prueba *t* de Student demostró que existió diferencia significativa entre los promedios de altura comercial de todas las parcelas; excepto entre las parcelas 1 y 3 (Tabla 24).

En relación al área basal, de las parcelas de 11 años instaladas en sistemas agroforestales, la parcela 3 presentó el mayor valor (0,105 m<sup>2</sup>); seguida por las parcelas 2 y 1, con 0,081 m<sup>2</sup> y 0,037 m<sup>2</sup> correspondientemente. La parcela 3 obtuvo el mayor promedio debido a la presencia de dos individuos de gran diámetro (73.2 cm y 71,5 cm), que en el diagrama de cajas del dap se pueden observar como datos atípicos (Figura 29). De las plantaciones puras, la parcela 4 (de 30 años) presentó 0,133 m<sup>2</sup> y la parcela 5 (de 20 años) presentó 0,087 m<sup>2</sup>. El resultado de la parcela 4 fue similar al registro de Montoya (2017), que determinó un área de sección normal promedio de 0,133 m<sup>2</sup> en plantaciones de 29 años de edad ubicadas en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador).

La prueba *t* de Student demostró que el promedio del área basal de la parcela 1 fue estadísticamente diferente al promedio de las demás parcelas. Asimismo, probó que no existieron diferencias significativas entre el promedio de la parcela 2 con las parcelas 3 y 5; y el promedio de la parcela 3 con las parcelas 4 y 58 (Tabla 24).

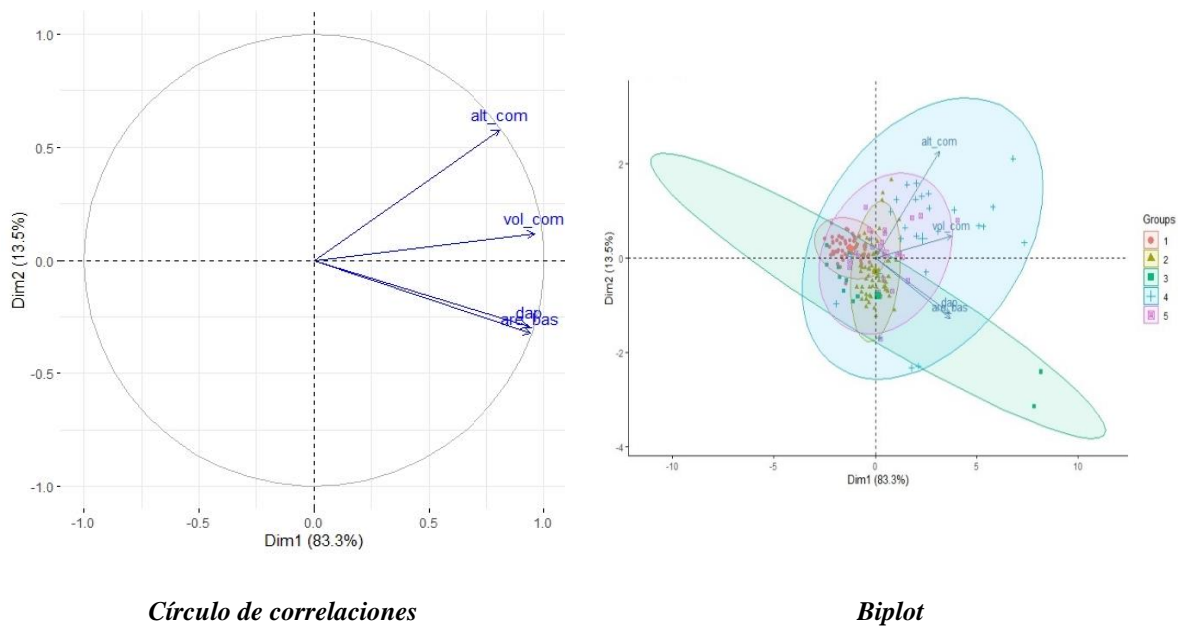
En relación al volumen comercial, la parcela 3 presentó 0,897 m<sup>3</sup>; seguida de las parcelas 2 y 1; con 0,508 m<sup>3</sup> y 0,216 m<sup>3</sup> respectivamente. La parcela 4 obtuvo 1,769 m<sup>3</sup> y la parcela 5 obtuvo 0,782 m<sup>3</sup>. El resultado de la parcela 3 se encuentra dentro del rango de 0,80 m<sup>3</sup> a 1,14 m<sup>3</sup> de volumen comercial propuesto por Gorbitz *et al.* (2020) para árboles plus A de 11 de años en plantaciones de Oxapampa (departamento de Pasco). Los volúmenes comerciales promedio de las parcelas 1 y 2 se encuentran por debajo del rango 0,83 m<sup>3</sup> a 1,05 m<sup>3</sup> señalado por Gorbitz *et al.* (2020) para árboles plus B de 11 años. El resultado de la parcela 4 fue superior a los 1,198 m<sup>3</sup> de volumen total promedio indicado por Montoya (2017) para plantaciones de 29 años de edad.

La prueba *t* de Student mostró que el promedio del volumen comercial de la parcela 1 fue estadísticamente diferente a las otras parcelas. Asimismo, probó que no existieron diferencias significativas entre el promedio de la parcela 2 con la parcela 3; y el promedio de la parcela 3 con las parcelas 4 y 5.

**Tabla 24: Prueba *t* de Student para los indicadores de crecimiento de *Pinus tecunumanii***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor		p valor		p valor		p valor	
1 - 2	0.000	*	0.003	*	0.000	*	0.000	*
1 - 3	0.004	*	0.084	n.s.	0.001	*	0.004	*
1 - 4	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
1 - 5	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
2 - 3	0.602	n.s.	0.008	*	0.212	n.s.	0.091	n.s.
2 - 4	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
2 - 5	0.511	n.s.	0.002	*	0.273	n.s.	0.002	*
3 - 4	0.066	n.s.	0.000	*	0.436	n.s.	0.117	n.s.
3 - 5	0.655	n.s.	0.002	*	0.591	n.s.	0.783	n.s.
4 - 5	0.004	*	0.008	*	0.004	*	0.003	*

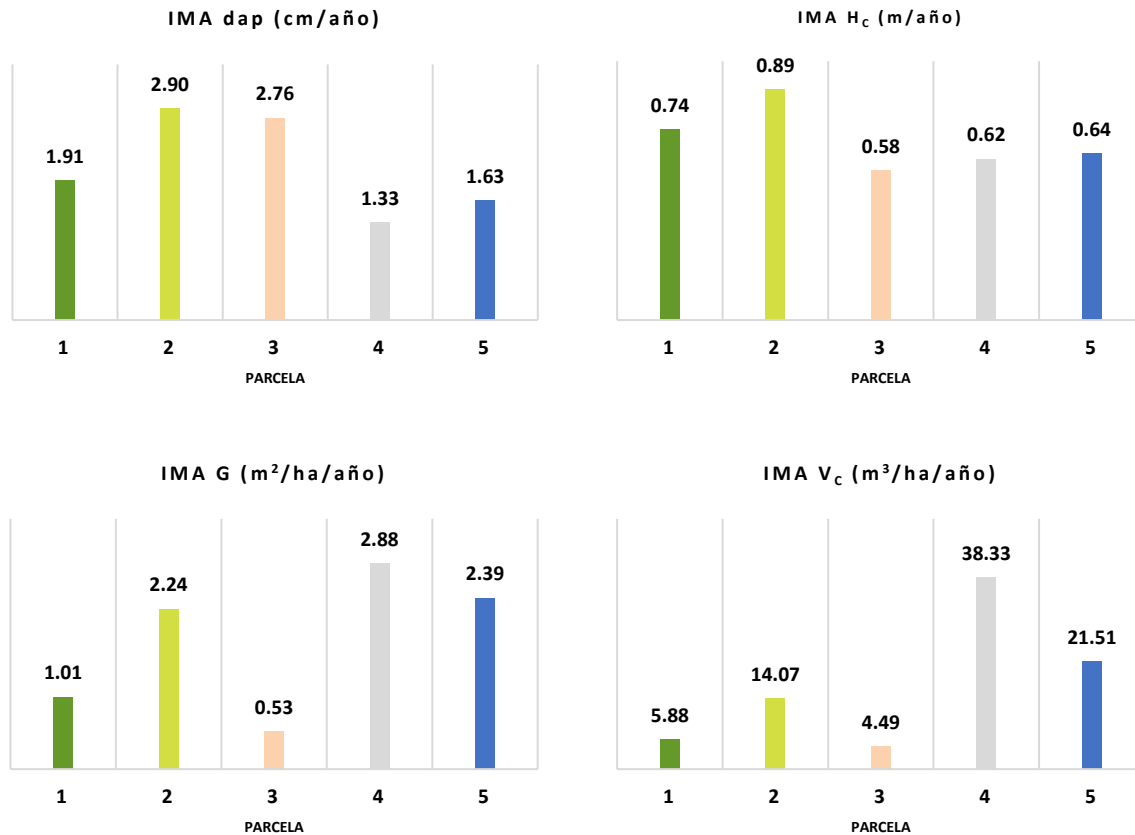
El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 96,8 por ciento de la varianza de los datos (Figura 31). El círculo de correlaciones mostró que los cuatro indicadores de crecimiento estuvieron correlacionados; en especial el dap y el área basal. El biplot mostró que el crecimiento de la mayoría de los individuos de la parcela 4 está fuertemente relacionado a la altura comercial y el volumen comercial. Asimismo, mostró que el crecimiento de la mayoría de los individuos de la parcela 3 estuvo representado por el dap y el área basal. En el caso de las demás parcelas ningún indicador resultó representativo.



**Figura 31: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para *Pinus tecunumanii***

#### 4.5.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Pinus tecunumanii*

La Figura 32 muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las cinco parcelas de *P. tecunumanii*.



**Figura 32: Indicadores de productividad de las cinco parcelas de *Pinus tecunumanii***

Las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en sistemas agroforestales de 11 años, presentaron un IMA dap de 1,91 cm/año, 2,90 cm/año y 2,76 cm/año respectivamente. Sólo las parcelas 2 y 3 se encontraron dentro del rango promedio de 2,3 cm/año a 3,6 cm/año indicado por CATIE (2020) para *P. tecunumanii*.

La parcela 4, instaladas en una plantación pura de 30 años, obtuvo 1,33 cm/año. Dicho resultado fue similar al registro de Montoya (2017) para plantaciones de 29 años de edad (1,4 cm/año). La parcela 5, instalada en una plantación pura de 20 años, presentó un IMA dap de 1,63 cm/año, similar a los 1,61 cm/año reportado por De Souza (2015) en ensayos de comportamiento de 21 años.

En referencia al IMA  $h_c$ , la parcela 2 presentó 0,89 m/año; seguida de las parcelas 1 y 3, con 0,74 m/año y 0,58 m/año correspondientemente. El resultado de la parcela 2 fue mayor al IMA  $h_c$  de 0,84 m/año calculado a partir de los datos ofrecidos por Barturén (2018) para plantaciones de 9 años en Jaén (departamento de Cajamarca).

La parcela 4 obtuvo 0,62 m/año y la parcela 5 presentó 0,64 m/año. Se han reportado valores de incremento medios anuales en altura total. Por ejemplo, Montoya (2017) indica 0,72 m/año para plantaciones de 29 años. De Souza (2015) señala 1,14 m/año para ensayos de comportamiento de procedencias de *P. tecunumanii* de 21 años. Trianoski (2009), en plantaciones experimentales de 18 años en Ventania (estado de Paraná, Brasil), reporta un IMA altura total de 1,44 m/año.

De las parcelas instaladas en sistemas agroforestales, la parcela 2 presentó un IMA G 2,24 m<sup>2</sup>/ha/año; seguida de las parcelas 1 y 3, con 1,01 m<sup>2</sup>/ha/año y 0,53 m<sup>2</sup>/ha/año. El menor IMA G de la parcela 3 estuvo influenciado por su menor densidad (55 árboles/ha). Para el caso de las parcelas 1 y 2 (con una densidad similar) el resultado de IMA G estuvo vinculado con el crecimiento en diámetro.

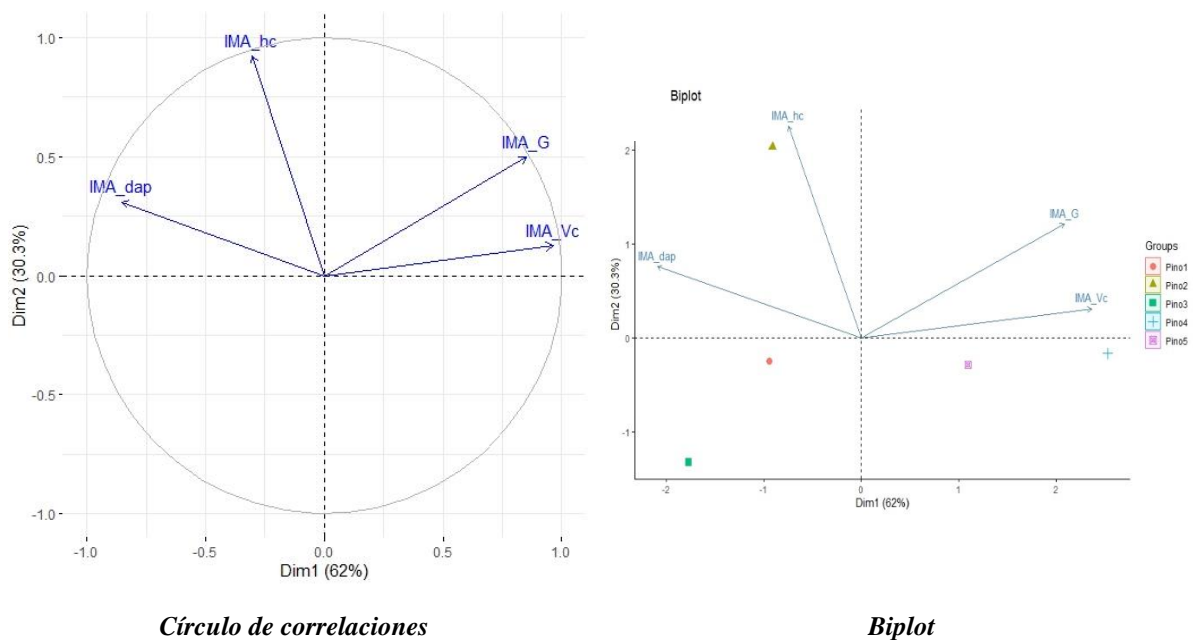
El IMA G de las parcelas 4 y 5 fueron 2,88 m<sup>2</sup>/ha/año y 2,39 m<sup>2</sup>/ha/año correspondientemente. Ambas parcelas, al haber sido instaladas en plantaciones puras, presentaron las mayores densidades (650 árboles/ha y 550 árboles/ha); por lo tanto, tuvieron mayor área basal por hectárea.

Son escasos los estudios que informen sobre el IMA G para *P. tecunumanii*. Por ejemplo, Montoya (2017) determinó un IMA G de 0,48 m<sup>2</sup>/ha/año en plantaciones de 29 años de edad ubicadas la Estación Experimental La Favorita en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador).

En relación al IMA  $V_c$ , la parcela 2 obtuvo 14,07 m<sup>3</sup>/ha/año; seguido de las parcelas 1 y 3, con 5,88 m<sup>3</sup>/ha/año y 4,49 m<sup>3</sup>/ha/año. Al igual que el IMA G, en los resultados de IMA  $V_c$  influyó la densidad de la plantación y el crecimiento en diámetro.

La parcela 4 obtuvo 38,33 m<sup>3</sup>/ha/año y la parcela 5 obtuvo 21,51 m<sup>3</sup>/ha/año. Los resultados de otras investigaciones están referidos a volumen total. Por ejemplo, para plantaciones de 29 años de edad, Montoya (2017) determinó IMA volumen total de 4,28 m<sup>3</sup>/ha/año bajo una densidad de 104 árboles/ha. Cordero y Boshier (2003), citados por Trianoski (2012), reportaron un volumen total de 10,34 m<sup>3</sup>/ha/año a 11,42 m<sup>3</sup>/ha/año en plantaciones de 35 años de edad.

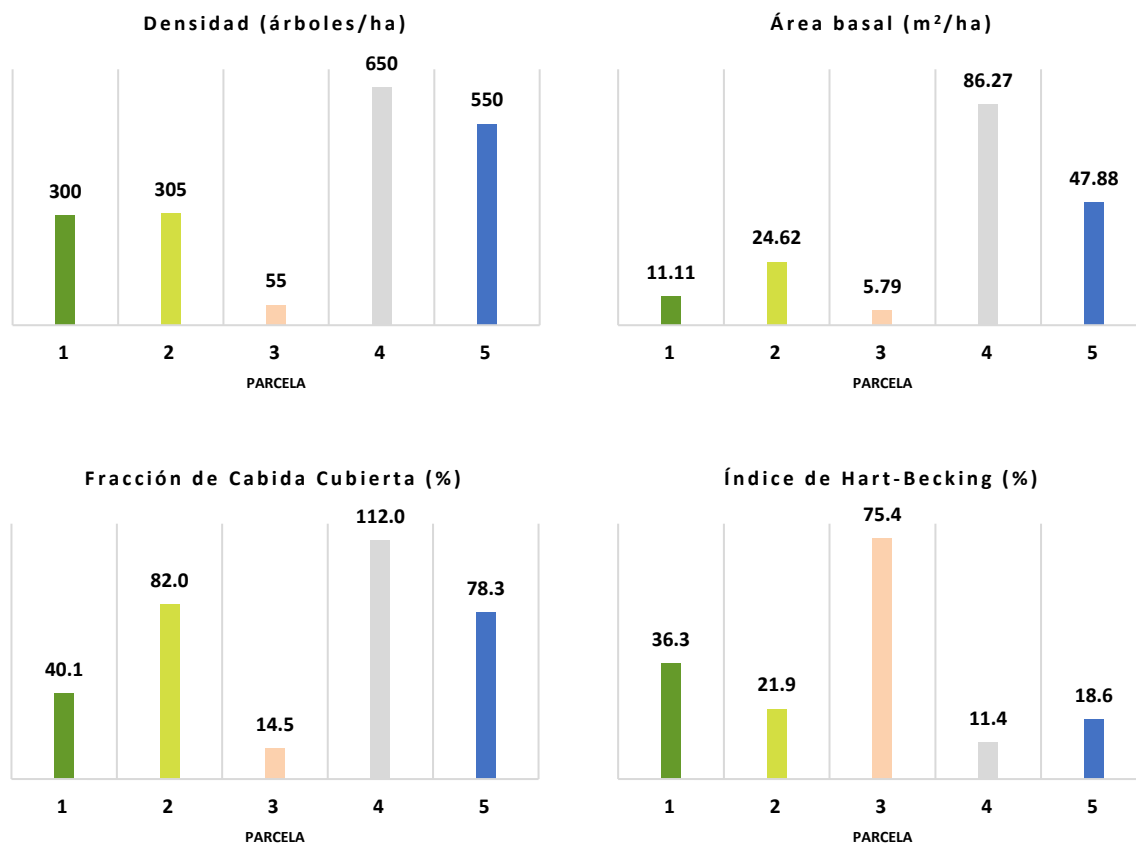
El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 92,3 por ciento de la varianza de los datos (Figura 33). El círculo de correlaciones mostró que el IMA G e IMA V<sub>c</sub> estuvieron directamente correlacionados; y que ambos indicadores estuvieron inversamente correlacionados al IMA dap. El biplot mostró que la representatividad de los indicadores de productividad varió según la parcela. De esta manera, el IMA V<sub>c</sub> fue representativo en las parcelas 4 y 5; mientras que el IMA h<sub>c</sub> fue representativo en la parcela 2 y el IMA dap fue representativo en la parcela 1. En el caso de la parcela 3 ninguno de los indicadores tuvo una representatividad notoria.



**Figura 33: Análisis de Componentes Principales de los indicadores los indicadores de productividad de *Pinus tecunumanii***

### 4.5.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Pinus tecunumanii*

La Figura 34 muestra los resultados de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal evaluados en las cinco parcelas de *P. tecunumanii*.



**Figura 34: Indicadores de espesura de masa forestal de las cinco parcelas de *Pinus tecunumanii***

Las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en sistemas agroforestales de 11 años, obtuvieron un área basal de 11,11 m<sup>2</sup>/ha, 24,62 m<sup>2</sup>/ha y 5,79 m<sup>2</sup>/ha respectivamente. El área basal menor de la parcela 3 estuvo directamente relacionado a la baja densidad de la parcela (55 árboles/ha). Para las parcelas 1 y 2 la densidad fue 300 árboles/ha y 305 árboles/ha.

El área basal de la parcela 4 fue 86,27 m<sup>2</sup>/ha. Dicho resultado, notoriamente superior respecto a las otras parcelas, estuvo relacionado a la alta densidad de la plantación donde se instaló (650 árboles/ha) y al crecimiento diamétrico de los árboles (dap promedio de 39,99 cm).

El área basal de la parcela 5 fue de 47,88 m<sup>2</sup>/ha. Al igual que la parcela 4, este resultado estuvo relacionado a la alta densidad de la plantación donde se instaló (550 árboles/ha) y al crecimiento diamétrico de los árboles (dap promedio de 32,63 cm).

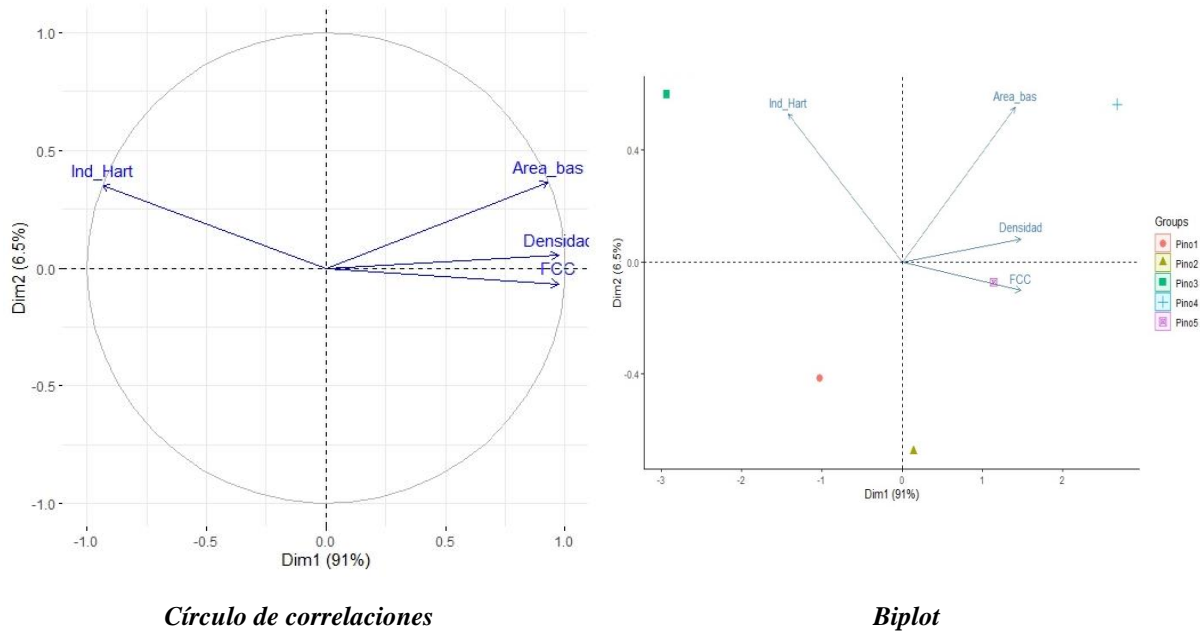
De acuerdo a la clasificación de espesura de masa en base al área basal propuesta de Gonzáles (2011), las parcelas 1 y 3 calificaron como claras; la parcela 2 calificó como espesura normal; la parcela 5 calificó como espesura excesiva y la parcela 4 calificó como espesura trabada.

De acuerdo a las categorías de FCC propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), las parcelas 1 y 3 calificaron como arbolado semicerrado y las parcelas 2, 4 y 5 calificaron como arbolado cerrado.

De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado por Prodan *et al.* (1997), las parcelas 1, 2 y 3 califican como plantaciones que recibieron un raleo intenso; mientras que para la parcela 4 el raleo calificó como insuficiente. Para la parcela 5 aún no se sugeriría raleo.

El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 97,5 por ciento de la varianza de los datos (Figura 35). El círculo de correlaciones mostró que la densidad, el área basal y la FCC estuvieron directamente correlacionadas; y que estos tres indicadores estuvieron inversamente correlacionados con el Índice de Hart-Becking. El biplot mostró que el área basal fue un indicador representativo en la parcela 4, así como el FCC y el Índice de Hart-Becking fueron representativos para las parcelas 5 y 3 correspondientemente. Para las parcelas 1 y 2 ningún indicador fue determinante en la caracterización de su espesura de masa forestal.





**Figura 35: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Pinus tecunumanii***

#### 4.5.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Pinus tecunumanii*

Finalmente, en la Tabla 25 se presentan los resultados de pH y textura del suelo de las cinco parcelas evaluadas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe y la clasificación de textura de Conti, respectivamente.

Las parcelas 1, 2 y 3 se instaron en sistemas agroforestales de 11 años de edad. La parcela 2 obtuvo valores mayores en los indicadores de crecimiento y productividad. Los indicadores de espesura de masa forestal mostraron que las tres parcelas tenían una espesura deficiente.

**Tabla 25. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Pinus tecunumanii***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1*	7,3	Ligeramente alcalino	Franco	Moderadamente gruesa
2	5,3	Medianamente ácido	Franco	Moderadamente gruesa
3*	7,3	Ligeramente alcalino	Franco	Moderadamente gruesa
4	6,4	Ligeramente ácido	Franco	Moderadamente gruesa
5	6,7	Ligeramente ácido	Franco arenoso	Moderadamente gruesa

\* FAO *et al.* (2009)

En cuanto a las condiciones de suelo, la parcela 2 tuvo un pH de 5,3 (medianamente ácido); en cambio, las parcelas 1 y 3 tuvieron un pH de 7,3 (ligeramente alcalino). La textura del suelo de las tres parcelas fue franca, calificando como moderadamente gruesa.

La parcela 4 se instaló en una plantación pura de 30 años de edad. Los indicadores de crecimiento estuvieron relacionados a su edad. En productividad, los valores IMA G e IMA V<sub>c</sub> fueron influenciados por la densidad, que fue la mayor de las cinco parcelas. Los indicadores de espesura de masa forestal indicaron que esta plantación tenía una espesura excesiva. La parcela 4 se estableció en un suelo de pH de 6,4 (ligeramente ácido) y textura franca (moderadamente gruesa).

La parcela 5 se instaló en una plantación pura de 20 años. Los indicadores de crecimiento estuvieron relacionados a su edad. En productividad, los valores IMA G e IMA V<sub>c</sub> fueron influenciados por la densidad, la segunda mayor de las cinco parcelas evaluadas. Los indicadores de espesura de masa forestal indicaron que esta plantación tenía una espesura excesiva. La parcela 5 se estableció en un suelo de pH de 6,7 (ligeramente ácido) y textura franca arenosa (moderadamente gruesa).

Al comparar los valores de crecimiento y productividad de estas parcelas con otros estudios se observó que fueron similares. Este resultado pudo estar relacionado al pH de las plantaciones

estudiadas, que calificó de ligeramente a medianamente ácido. De acuerdo a Rojas (2015) *P. tecunumanii* crece en una gran variedad de suelos, con un pH de 4,5 a 5,5. CATIE (2020) también señala que la especie crece en una amplia variedad de suelos, de ligeramente ácidos a neutros (pH de 4,8 a 7,7). Asimismo, García (2009) menciona que la especie crece en suelos ácidos.

En relación a la textura, García (2009) señala que la especie crece en suelos arenosos, de buen drenaje. Dvorak (2000), citado por Rojas (2015), indican que *P. tecunumanii* tolera una gran variedad de suelos, de arcillo limosos a limo arenosos. Rojas (2015) indica que crece en arcillosos. Como se puede observar, la literatura menciona que la especie se desarrolla en suelos de diferentes texturas.

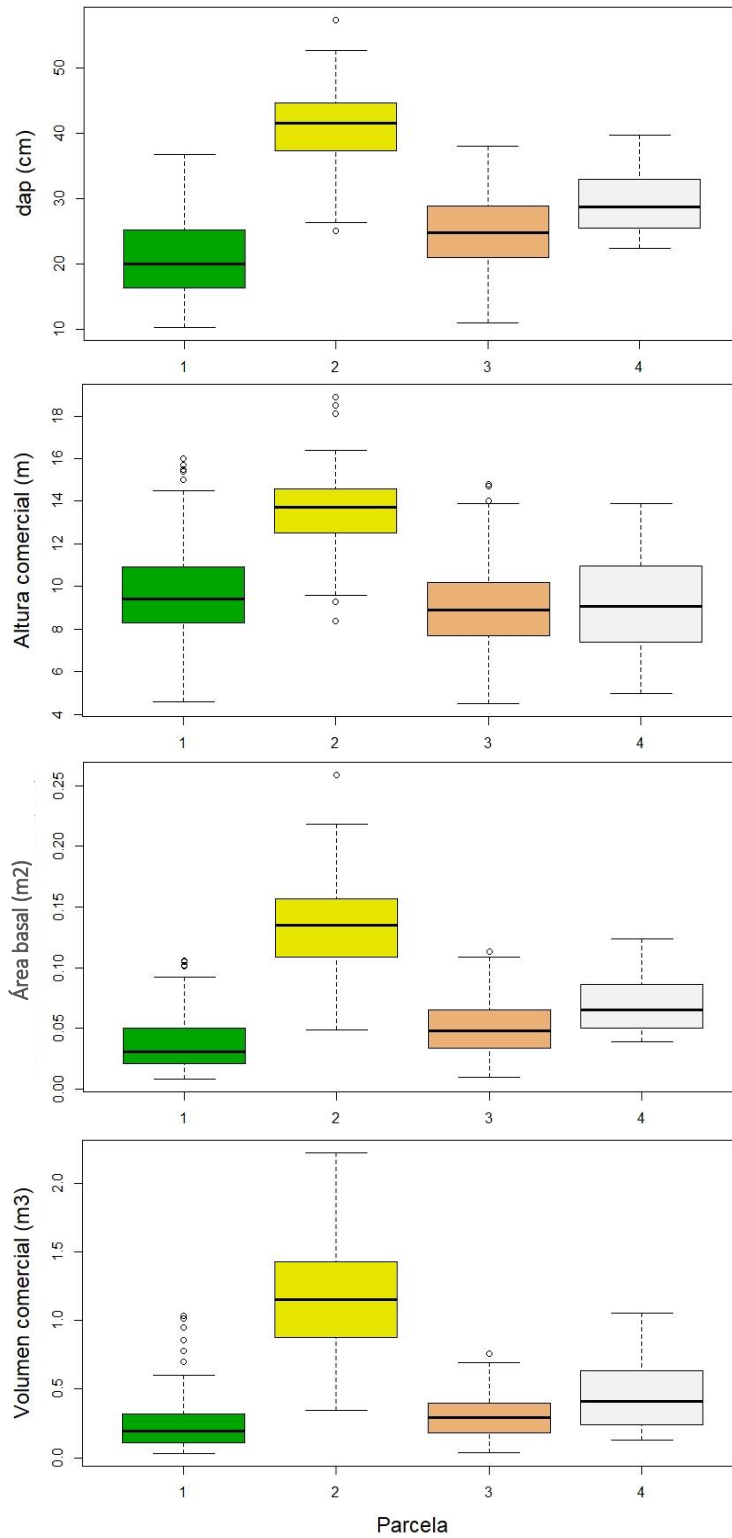
#### **4.6 RETROPHYLLUM ROSPIGLIOSII (PILGER) C.N. PAGE – “ULCUMANO”**

##### **4.6.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Retrophyllum rospigliosii***

La figura 36 muestra los diagramas de cajas de los indicadores de crecimiento para las cuatro parcelas de *R. rospigliosii* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*. La parcela 1 se instaló en una faja de enriquecimiento de 35 años. Las parcelas 2 y 3 se instalaron en sistemas agroforestales de 35 años. Estas tres parcelas se ubicaron en la provincia de Oxapampa (departamento de Pasco). La parcela 4 se instaló en una plantación pura de 22 años, ubicada en la provincia de Chanchamayo (departamento de Junín).

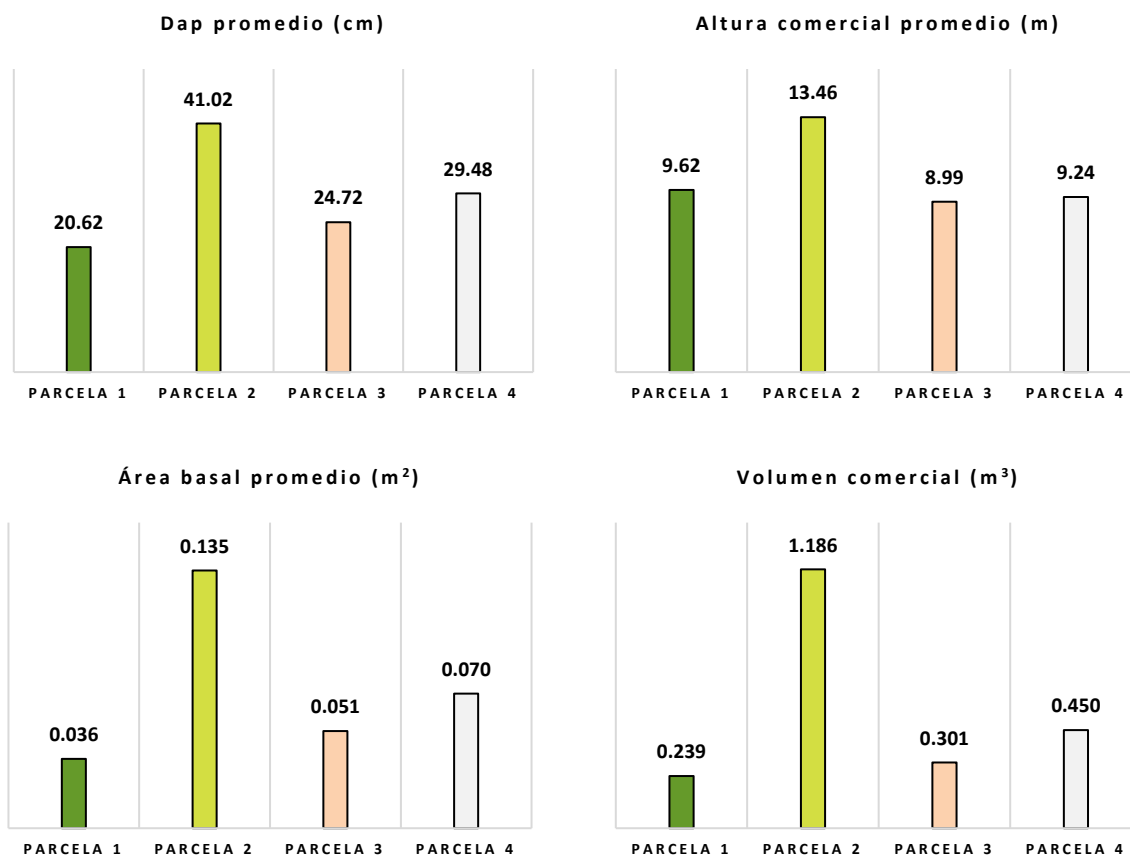
Se pudo observar que, de las parcelas de 35 años, la parcela 2 presentó los mayores valores en los cuatro indicadores. Asimismo, los valores de la parcela 4 fueron similares a los valores de las parcelas 1 y 3; a pesar de la diferencia de edad.

En general, el reducido rango intercuartil en los diagramas de cajas sugirió que las cuatro plantaciones presentaron un crecimiento uniforme. Sin embargo, se debe precisar que las parcelas 1, 2 y 3 mostraron algunos datos atípicos, lo que podría indicar que el crecimiento de algunos árboles se diferenció marcadamente de los demás. Este patrón se presentó principalmente para la altura y volumen comerciales.



**Figura 36: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Retrophyllum rospigliosii***

La figura 37 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *R. rospigliosii* evaluadas.



**Figura 37: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Retrophyllum rospigliosii***

De las plantaciones de 35 años, la parcela 2 presentó el mayor dap promedio (41,02 cm); seguida de las parcelas 3 y 1, con 24,72 cm y 20,62 cm. La prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de dap de las parcelas 1 y 3 (Tabla 26).

El resultado de la parcela 2 fue superior al dap promedio de 25,56 cm calculado a partir de los datos de dap presentados por Chumbimune (2017) para la caracterización anatómica y física de la madera de *R. rospigliosii* proveniente de un sistema agroforestal de 32 años en Villa Rica

(departamento de Pasco). Los resultados de las parcelas 1 y 3 fueron menores a pesar de tener mayor edad.

Cabe indicar que para un sistema agroforestal de *Pinus* spp. e *Inga* sp. asociado con *R. rospigliosii* y otras especies forestales, Ehrenbergerová *et al.* (2019) determinaron un dap promedio de 35,4 cm a los 15 años de edad.

A los 22 años, la parcela 4 obtuvo un dap promedio de 29,48 cm. De acuerdo a la prueba *t* de Student, el promedio de dap de esta parcela presentó diferencias significativas con las otras 3 parcelas (Tabla 26). El resultado de la parcela 4 se encontró dentro del rango de 26 cm y 33 cm de dap indicado por Portillo *et al.* (2019) para plantaciones puras de 22 años localizadas Caldas (Colombia).

Respecto de la altura comercial, la parcela 2 presentó 13,46 m; seguida de las parcelas 1 y 3, con 9,62 m y 8,99 m. La prueba *t* de Student (Tabla 26) demostró que existió diferencia significativa entre el promedio de altura comercial de la parcela 2 con las otras parcelas. Asimismo, mostró que no existió diferencia significativa entre las parcelas 1 y 3.

La parcela 4 presentó una altura comercial promedio de 9,24 m. De acuerdo a la prueba *t* de Student (Tabla 26), el promedio de altura comercial de esta parcela presentó diferencias significativas con las otras parcelas.

Los resultados de las cuatro parcelas fueron menores a la altura comercial promedio de 19,6 m calculada a partir de los datos de altura comercial presentados por Chumbimune (2017) para un sistema agroforestal de 32 años en Villa Rica (departamento de Pasco).

Para altura total, Ehrenbergerová *et al.* (2019) reportaron una media de 25,5 m en sistemas agroforestales de 15 años. Para plantaciones puras de 22 años Portillo *et al.* (2019) indicaron una media de 15,25 m a 18,25 m en plantaciones localizadas en Caldas (Colombia).

Cabe mencionar que la especie presenta poda natural (Cárdenas 2016) y su fuste es recto y cilíndrico (Reynel y Marcelo 2009). Estas características se deben considerar al analizar el crecimiento en altura comercial.

En relación al área basal promedio, la parcela 2 obtuvo el mayor valor (0,135 m<sup>2</sup>); seguida de las parcelas 3 y 1, con 0,051 m<sup>2</sup> y 0,036 m<sup>2</sup>. La prueba t de Student (Tabla 26) demostró que existieron diferencias significativas entre los promedios de área basal de las tres parcelas.

La parcela 4 presentó un área basal promedio de 0,070 m<sup>2</sup>. Dicho valor resultó mayor a los promedios de las parcelas 1 y 3 a pesar que estas parcelas tienen mayor edad. La prueba t de Student (Tabla 26) demostró que el promedio de área basal de la parcela 4 fue estadísticamente diferente al promedio de las demás parcelas.

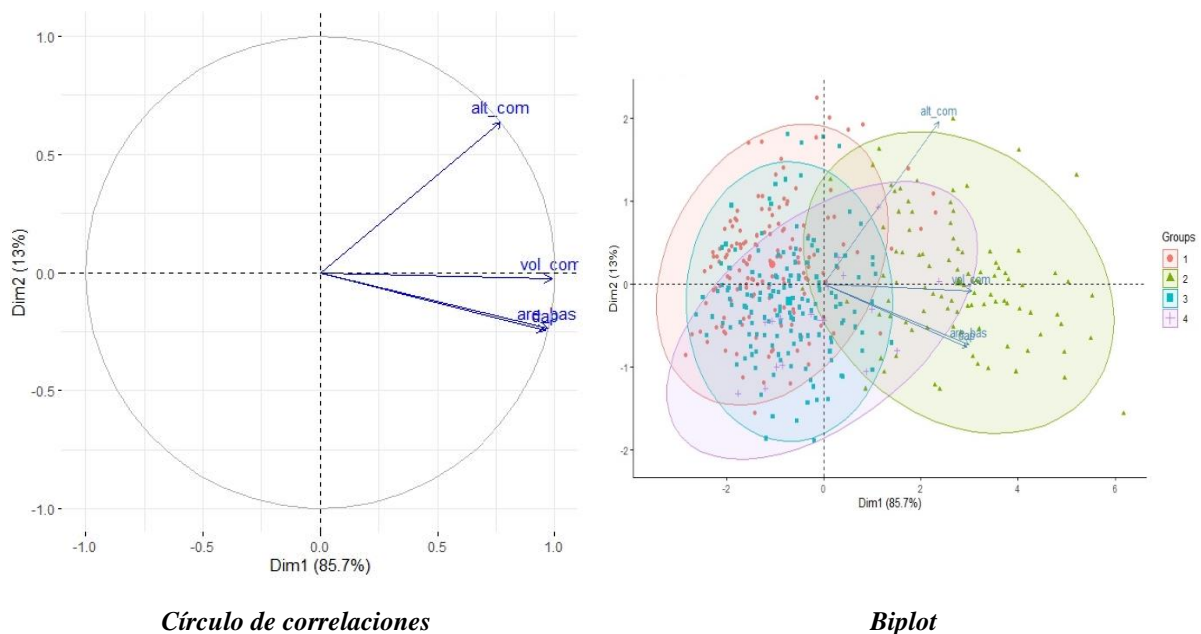
No se encontraron valores de área basal publicados para *R. rospigliosii*. Ramírez *et al.* (2021) tampoco encontraron información sobre este indicador de crecimiento.

**Tabla 26: Prueba t de Student para los indicadores de crecimiento de *Retrophyllum rospigliosii***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor		p valor		p valor		p valor	
1 - 2	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
1 - 3	0.621	n.s.	0.012	n.s.	0.000	*	0.002	*
1 - 4	0.000	*	0.542	n.s.	0.000	*	0.000	*
2 - 3	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
2 - 4	0.000	*	0.000	*	0.000	*	0.000	*
3 - 4	0.000	*	0.637	n.s.	0.002	*	0.001	*

Respecto del volumen comercial, de las parcelas instaladas en sistemas agroforestales de 35 años, la parcela 2 obtuvo el mayor volumen comercial (1,186 m<sup>3</sup>); seguida de las parcelas 3 y 1, con 0,301 m<sup>3</sup> y 0,239 m<sup>3</sup>. La parcela 4, instalada en una plantación pura de 22 años, presentó un volumen comercial promedio de 0,450 m<sup>3</sup>. Valores de volumen comercial publicados para *R. rospigliosii* son escasos. Ehrenbergerová *et al.* (2019) determinaron un volumen comercial de 1,02 m<sup>3</sup> en sistemas agroforestales con *Inga* spp. y *Pinus* sp. asociadas con otras especies, entre ellas *R. rospigliosii*. Los árboles de la especie tenían en promedio 15 años.

El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 98,7 por ciento de la varianza de los datos (Figura 38). El círculo de correlaciones mostró que los cuatro indicadores de crecimiento estuvieron directamente correlacionados; en especial el dap, el área basal y el volumen comercial. El biplot mostró que el crecimiento de la parcela 2 se diferenció de las demás parcelas; y que el crecimiento de la mayoría de árboles de esta parcela estuvo representado por el dap, el área basal y el volumen comercial. Asimismo, mostró que el crecimiento de las parcelas 1, 3 y 4 fue similar; a pesar de la diferencia de edad.



**Figura 38: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento para *Retrophyllum rospigliosii***



#### 4.6.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Retrophyllum rospigliosii*

La Figura 39 muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las cuatro parcelas de *R. rospigliosii*.

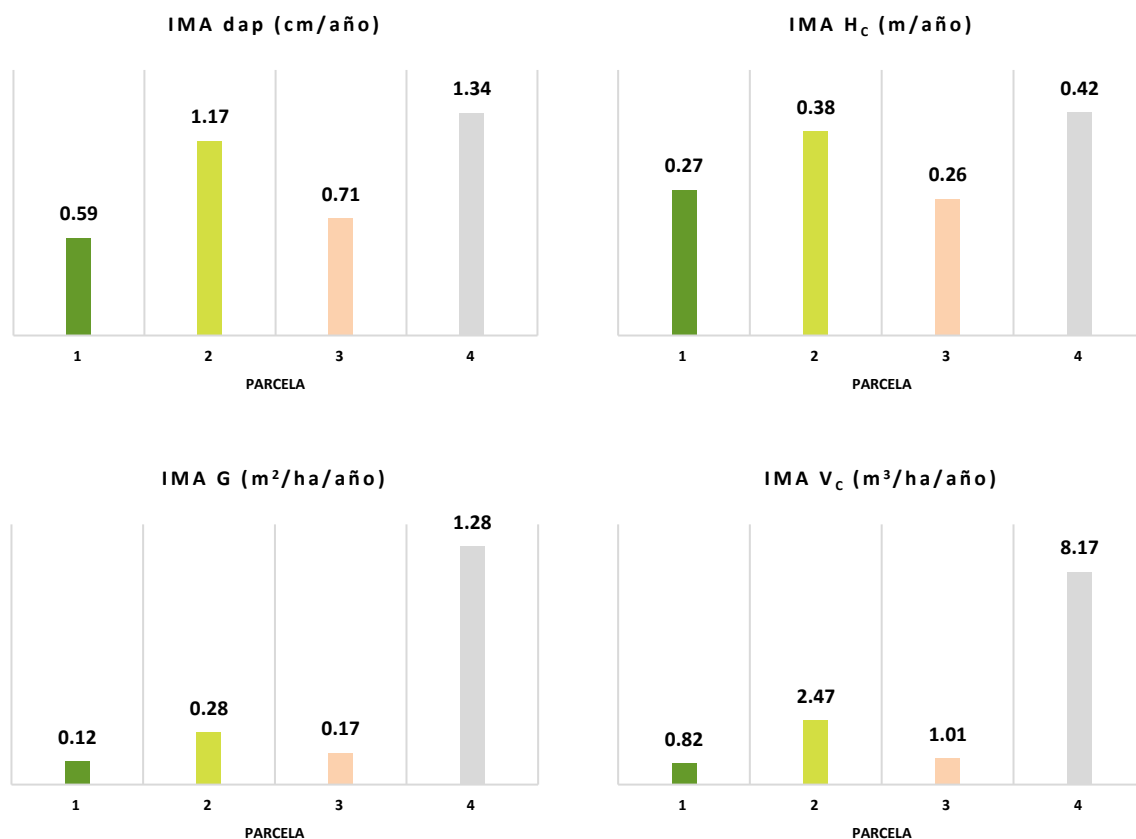
La parcela 1, instalada en una faja de enriquecimiento de 35 años, presentó un IMA dap de 0,59 cm/año. Dicho resultado fue menor a los IMA dap de 1,2 m/año y 1,3 m/año reportado por Palomino y Barra (2003) para fajas de enriquecimiento de 14 años y 17 años respectivamente. Cabe indicar que, en bosques naturales, el IMA dap varía de 0,1 cm/año a 0,8 cm/año (Trujillo 2013, citado por Cárdenas 2016). Las parcelas 2 y 3, instaladas en sistemas agroforestales de 35 años, presentaron un IMA dap de 1,17 cm/año y 0,71 cm/año correspondientemente. Ambos valores fueron menores que los publicados por Palomino y Barra (2003), quienes reportan un IMA dap de 1,3 m/año y 1,4 m/año para sistemas agroforestales de 16 años y 19 años respectivamente. La parcela 4, instalada en una plantación pura de 22 años, presentó un IMA dap de 1,34 cm/año. Este resultado fue similar a los valores indicados por Palomino y Barra (2003) para otros tipos de plantación.

En relación al IMA altura comercial, la parcela 1 presentó 0,38 m/año. Palomino y Barra (2003) reportaron valores mayores para fajas de enriquecimiento de 14 años y 17 años (1,1 m/año y 1,2 m/año respectivamente). Las parcelas 2 y 3 presentaron 0,38 m/año y 0,26 m/año. Palomino y Barra (2003) reportaron valores mayores para sistemas agroforestales de 16 años y 19 años (0,9 m/año y 1,1 m/año correspondientemente). La parcela 4 presentó 0,42 m/año. El resultado de las parcelas 1, 2 y 4 se encuentra dentro del intervalo de 0,3 m/año a 0,7 m/año señalado por Cárdenas (2016) para plantaciones a partir de los 3 años de edad.

Respecto del IMA G, la parcela 4 tuvo el mayor valor de todas las parcelas (1,28 m<sup>2</sup>/ha/año). Al ser una plantación pura presentó una mayor densidad (400 árboles/ha), hecho que incrementó su área basal. Las parcelas 2 y 3 obtuvieron 0,28 m<sup>2</sup>/ha/año y 0,17 m<sup>2</sup>/ha/año. La parcela 2 obtuvo un mayor valor a pesar de tener menor densidad. En este caso, el resultado se explica por el crecimiento en diámetro, superior en la parcela 2. La parcela 1 presentó un IMA G de 0,12 m<sup>2</sup>/ha/año, el menor valor de las cuatro parcelas. Esta parcela presentó mayor densidad que las parcelas 2 y 3, pero su menor crecimiento diamétrico se reflejó en el IMA G que obtuvo.

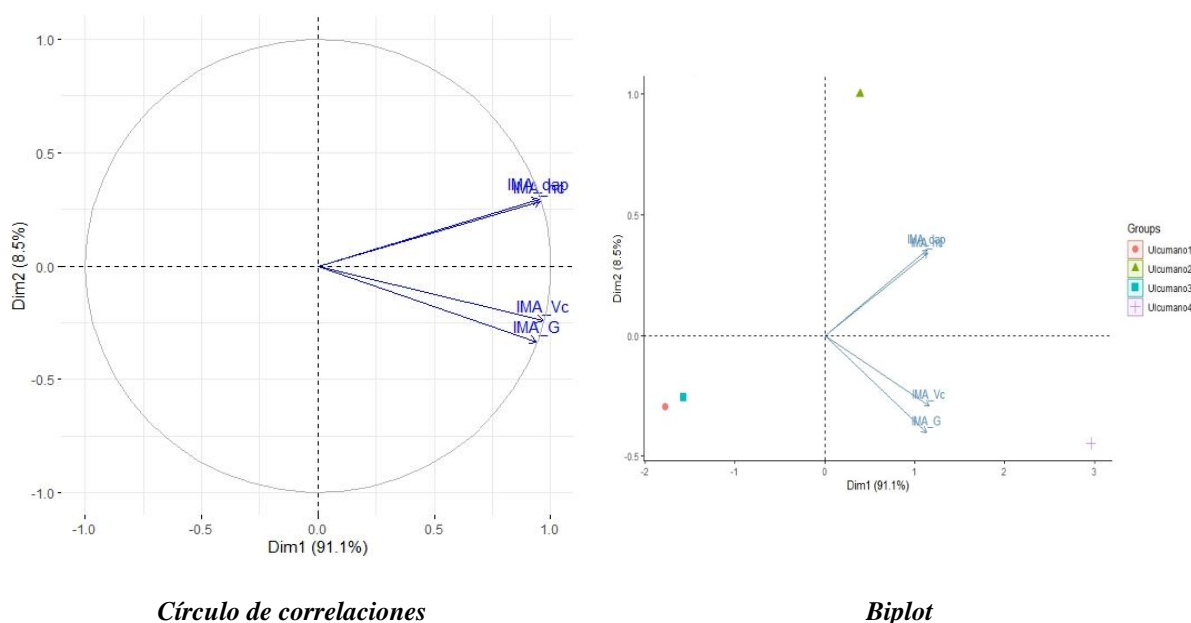
En relación al IMA  $V_c$ , la parcela 1 presentó 0,82 m<sup>3</sup>/ha/año. Las parcelas 2 y 3 presentaron 2,47 m<sup>3</sup>/ha/año y 1,01 m<sup>3</sup>/ha/año respectivamente. No se encontraron valores de incrementos anuales en volumen por hectárea para este tipo de plantaciones. Palomino y Barra (2003) reportan incrementos anuales en volumen por árbol. De esta manera, para fajas de enriquecimiento de 14 años y 17 años señalan un IMA volumen total por árbol de 0,017 m<sup>3</sup>/año y 0,032 m<sup>3</sup>/año respectivamente. Para sistemas agroforestales de 16 años y 19 años señalan un IMA volumen total por árbol de 0,021 m<sup>3</sup>/año y 0,043 m<sup>3</sup>/año correspondientemente.

La parcela 4 presentó 8,17 m<sup>3</sup>/ha/año. Este resultado fue superior al IMA volumen total de 7,7 m<sup>3</sup>/ha/año indicado por Ramírez *et al.* (2021) para plantaciones sin fertilización. Para el caso de plantaciones fertilizadas, el IMA volumen total fue 10,5 m<sup>3</sup>/ha/año.



**Figura 39: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de *Retrophyllum rospigliosii***

El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,6 por ciento de la varianza de los datos (Figura 40). El círculo de correlaciones mostró que los cuatro indicadores estuvieron directamente correlacionados. Cabe precisar que entre IMA dap e IMA hc; y entre el IMA G e IMA V<sub>c</sub>, la correlación fue alta. El biplot mostró que la representatividad de los indicadores de productividad varió según la parcela. De esta manera, el IMA dap e IMA hc fueron representativos en la parcela 2; y el IMA G e IMA V<sub>c</sub> fueron representativos en la parcela 4. En el caso de las parcelas 1 y 3 ninguno de los indicadores tuvo una representatividad resaltante.



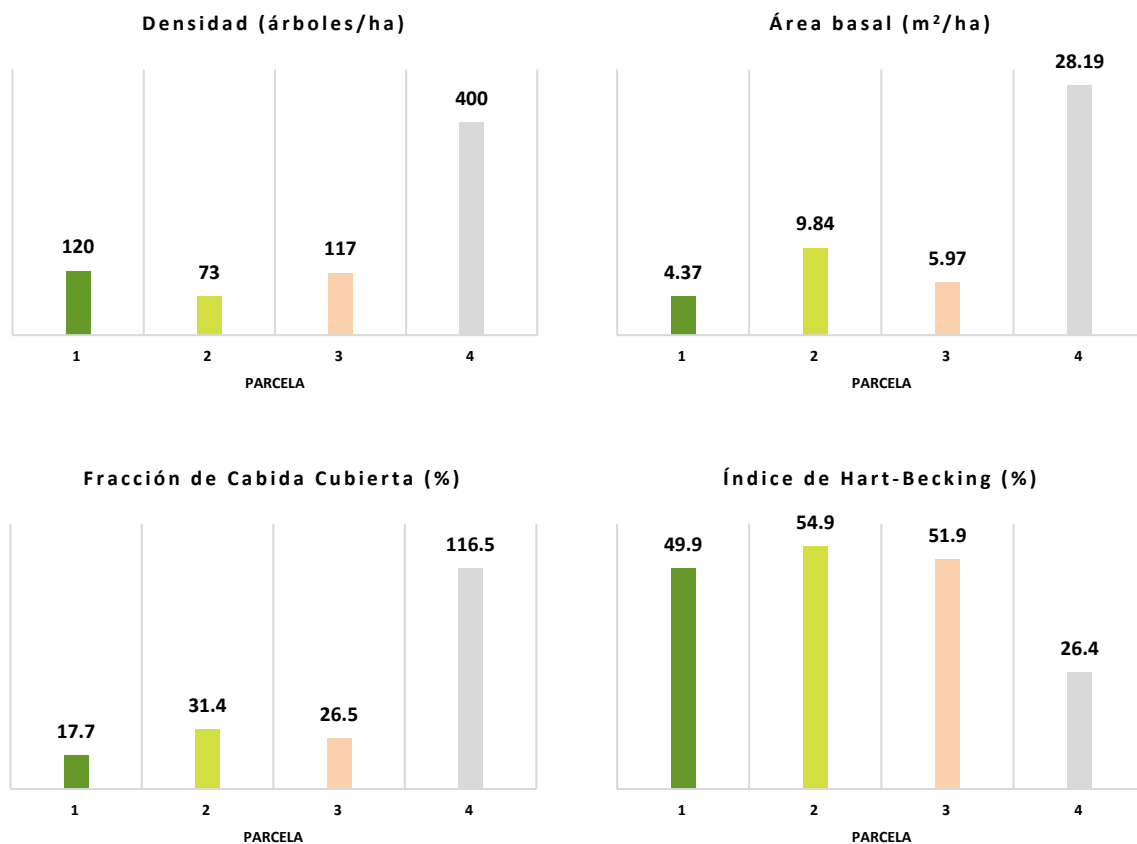
**Figura 40: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad de *Retrophyllum rospigliosii***

#### 4.6.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Retrophyllum rospigliosii*

En la Figura 41 se muestra los resultados de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal evaluados en las cuatro parcelas de *R. rospigliosii*.

La parcela 1, instaladas en fajas de enriquecimiento, obtuvo 4,37 m<sup>2</sup>/ha, la menor área basal de las cuatro parcelas. Obtuvo este resultado con una densidad de 120 árboles/ha. Las parcelas 2 y 3 presentaron 9,84 m<sup>2</sup>/ha y 5,97 m<sup>2</sup>/ha, con densidades de 73 árboles/ha y 117 árboles/ha respectivamente. La parcela 4, instalada en una plantación pura, presentó 28.19 m<sup>2</sup>/ha, la mayor área basal de las cuatro parcelas. Obtuvo este resultado con una densidad de 400 árboles/ha.

De acuerdo a la clasificación de espesura de masa en base al área basal propuesta de Gonzáles (2011), la parcela 1 calificó como muy clara; las parcelas 2 y 3 calificaron como clara; y la parcela 4 calificó como normal.

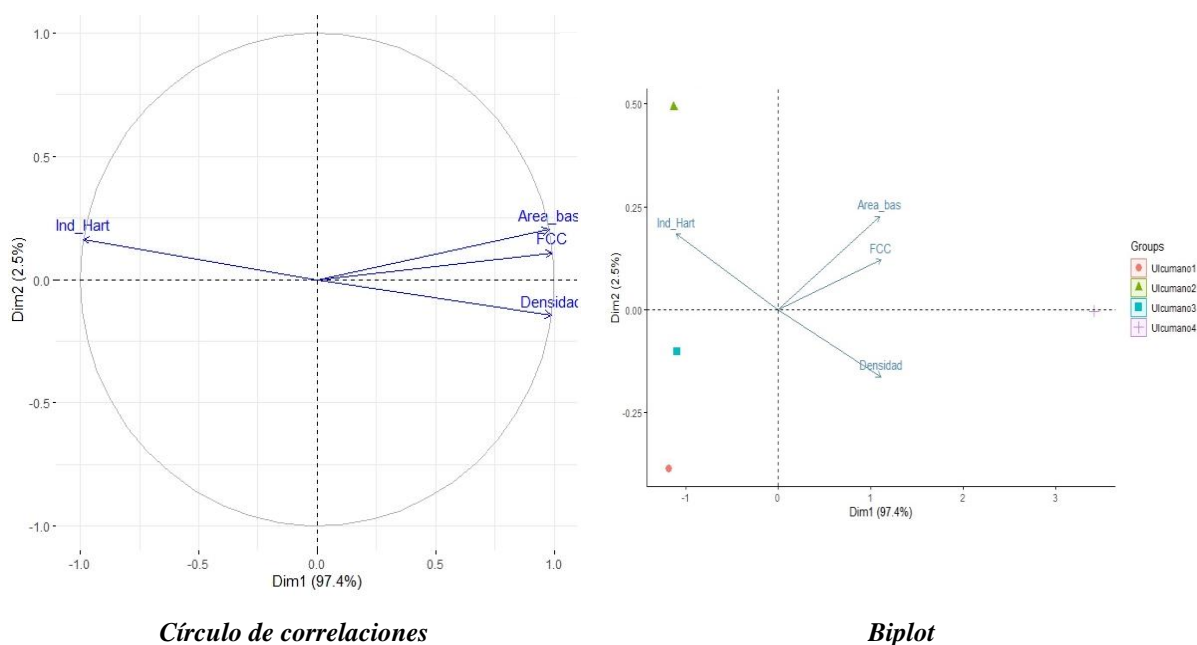


**Figura 41: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de *Retrophyllum rospigliosii***

De acuerdo a las categorías de FCC propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), las parcelas 1, 2 y 3 calificaron como arbolado abierto; y la parcelas 4 calificó como arbolado cerrado.

De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado por Prodan *et al.* (1997), las cuatro parcelas habrían recibido un raleo intenso; pero en menor intensidad la parcela 4.

El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,9 por ciento de la varianza de los datos (Figura 42). El círculo de correlaciones mostró que la densidad, el área basal y la FCC estuvieron directamente correlacionadas; y que estos tres indicadores estuvieron inversamente correlacionados con el Índice de Hart-Becking. El biplot mostró el Índice de Hart-Becking fue representativo en la parcela 2. Para las parcelas 1 y 3 ningún indicador fue determinante en la caracterización de su espesura de masa forestal.



**Figura 42: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Retrophyllum rospigliosii***

#### 4.6.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Retrophyllum rospigliosii*

Finalmente, en la Tabla 27 se presentan los resultados de pH y textura del suelo de las cuatro parcelas evaluadas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe, y la clasificación de Conti, respectivamente.

**Tabla 27. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Retrophyllum rospigliosii***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1	4.0	Fuertemente ácido	Franco	Moderadamente gruesa
2	4.7	Fuertemente ácido	Franco	Moderadamente gruesa
3	4.7	Fuertemente ácido	Franco arenoso	Moderadamente gruesa
4	6.5	Ligeramente ácido	Franco arcillo arenoso	Media

La parcela 1 se instaló en una faja de enriquecimiento de 35 años. Obtuvo resultados de crecimiento y productividad menores a las parcelas 2 y 3, de la misma edad. El pH de la parcela 1 resultó el más ácido de las cuatro parcelas, calificando como fuertemente ácido. Al comparar los resultados de crecimiento y productividad de esta parcela con otras investigaciones se observó que tuvo valores menores a los reportados. La parcela 2 y 3 se instalaron en un sistema agroforestal de 35 años. La parcela 2 presentó mayores valores de crecimiento y productividad que la parcela 1. Ambas se instalaron en plantaciones con suelos fuertemente ácidos y de textura moderadamente gruesos. Al comparar los resultados de crecimiento y productividad de esta parcela con otras publicaciones se observó que presentó valores menores a los reportados. Los menores resultados de las parcelas 1, 2 y 3 no estarían relacionados a su bajo pH pues, como señala Cueva *et al.* (2013), *R. rospigliosii* soporta suelos ácidos. A este respecto, Palomino y Barra (2003) precisan que la especie prefiere suelos con pH de 4,5 a 6,0. En cuanto a la textura, Cueva *et al.* (2013) indican que *R. rospigliosii* se desarrolla en suelos arcillosos y arcillo arenosos (de moderadamente finos a finos); además de profundos y buen drenaje. La parcela 1

y 2 se instalaron en suelos francos y la parcela 3 en suelos franco arenosos; que calificaron como moderadamente gruesos.

La parcela 4 se instaló en una plantación pura de 22 años. Su crecimiento y productividad fue mayor que las parcelas 1 y 3; llegando a superar a la parcela 2 en IMA dap e IMA hc. El pH de esta parcela fue el mayor; calificando como ligeramente ácido. Asimismo, tuvo una clase textural franco arcillo arenoso, que calificó como textura media. Al comparar los resultados de crecimiento y productividad de esta parcela con otras investigaciones se observó que presentó valores similares.

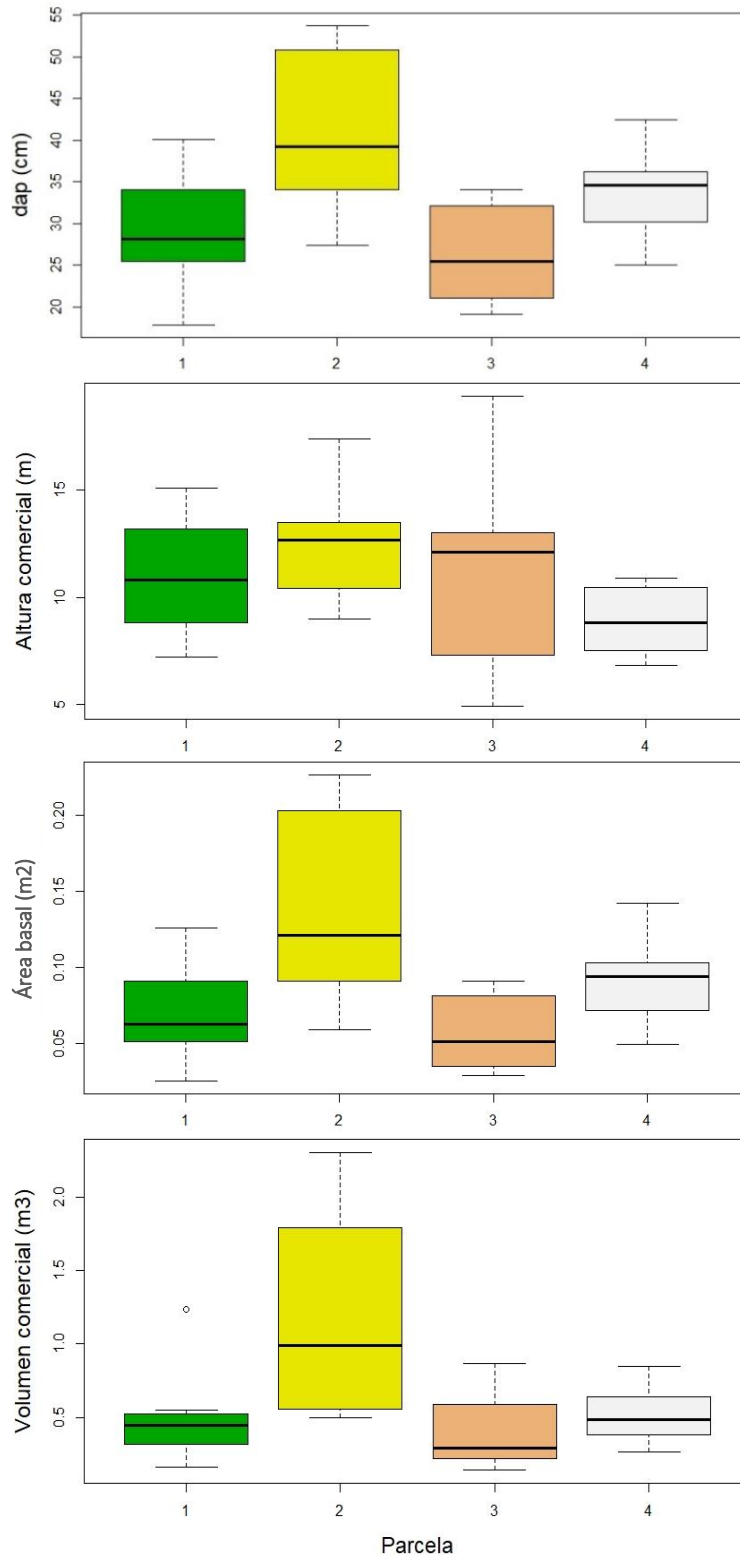
Los indicadores de espesura de masa forestal mostraron que las parcelas 1, 2 y 3 tuvieron una espesura defectiva en el momento de la evaluación; mientras que la parcela 4 presentó una espesura normal.

#### **4.7 SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM HUBER EX DUCKE – “PINO CHUNCHO”**

##### **4.7.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Schizolobium amazonicum***

La Figura 43 muestra los diagramas de cajas de los indicadores de crecimiento para las cuatro parcelas de *S. amazonicum* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*. Las cuatro plantaciones fueron levantadas en sistemas agroforestales, en el departamento de San Martín.

En general, se pudo observar que la plantación 2 presentó mayores crecimientos, especialmente en dap. Dicho resultado pudo deberse a su menor densidad de plantación (52 árboles/ha). Cabe indicar que, de acuerdo a Castro *et al.* (2015), los individuos de *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* presentan un crecimiento mayor en sistemas agroforestales en comparación al crecimiento en plantaciones puras o plantaciones mixtas. Complementariamente, Rodon (2012), citado por Tonini *et al.* (2005), señala que en plantaciones puras *S. amazonicum* presenta mayores diámetros y alturas a distanciamientos mayores.

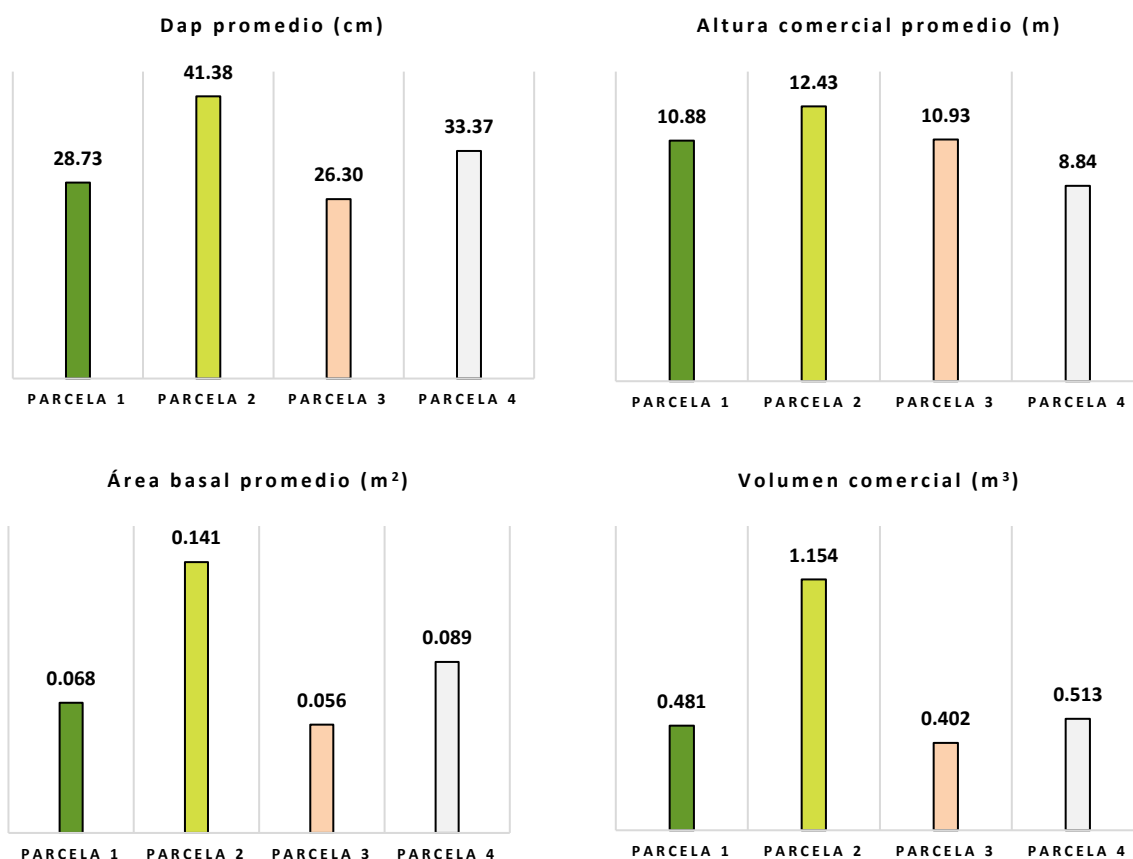


**Figura 43: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Schizolobium amazonicum***



Por otro lado, la parcela 2 presentó valores más dispersos, lo que sugiere la mayor heterogeneidad en el crecimiento de sus árboles. Las parcelas 1, 3 y 4 tuvieron valores menos dispersos, lo que sugiere una mayor homogeneidad en el crecimiento de sus árboles. Este resultado pudo deberse también a la diferencia en la densidad de plantación.

La figura 44 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *S. amazonicum* evaluadas.



**Figura 44: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cuatro parcelas de *Schizolobium amazonicum***

La parcela 2 tuvo el mayor crecimiento (con 41,38 cm) respecto a las parcelas 1 y 3 (con 28,73 cm y 26,3 cm respectivamente); todas ellas con 7 años de edad al momento de su evaluación. Dicho resultado se pudo deber a la menor densidad de la parcela 2.

La parcela 4 presentó el segundo mayor dap promedio, con 33,37 cm. Cabe indicar que esta parcela tenía 11 años al momento de la evaluación.

Estos valores fueron mayores a los indicados por Flores (2010), que reporta para plantaciones puras de *S. amazonicum* de 20 años de edad instaladas en el distrito de Irazola, provincia de Padre Abad (departamento de Ucayali) un dap promedio de 25,35 cm. También resultaron mayores a valores presentados por Dos Santos *et al.* (2003), que evaluaron el crecimiento *S. amazonicum* asociada con otras especies forestales en plantaciones mixtas de 7 años de edad, instaladas inicialmente a 4 m x 5 m. Dichos autores determinaron un dap promedio de 16,83 cm para la asociación de *S. amazonicum* con *S. macrophylla* y *Trattinickia burserifolia*. También resultaron mayores a los 18,9 cm determinados por Tonini *et al.* (2005) para plantaciones puras de 7 años de edad instaladas en el Campo Experimental Confiança (estado de Paraná, Brasil). Asimismo, fueron mayores a los resultados de Hoffman *et al.* (2011), que evaluaron plantaciones de la especie de 7 años de edad instaladas a un distanciamiento de 4 m x 4m en los municipios de Dom Elizeu y Paragominas, estado de Pará (Brasil). Ellos determinaron un dap promedio de 21,28 cm.

Por el contrario, estos resultados fueron menores a los reportes de Current *et al.* (1998) y Rossi *et al.* (2001), citados por De Sousa *et al.* (2003), quienes indican que a los 8 años de edad los árboles de *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* generalmente alcanzan un dap promedio de 35,7 cm. Asimismo, Áviles y Lima (1995), citados por Ramalho (2007), reportaron un dap promedio de 45 cm para sistemas agroforestales de 8 años de edad instalados a un espaciamiento inicial de 20 m x 5 m.

Por último, a pesar que los promedio de dap resultaron diferentes, la prueba *t* de Student (Tabla 28) mostró que no existieron diferencias significativas entre los promedios de dap de las cuatro parcelas.

En relación a la altura comercial promedio se observó que la parcela 2 obtuvo 12,43 m; seguida de la parcela 3 y 1, con 10,93 m y 10,88 m respectivamente. La parcela 4 obtuvo 8,84 m, el menor promedio.

Estos resultados son similares a los reportados por Dos Santos *et al.* (2003), quienes determinaron una altura comercial promedio de 11,33 m para la especie asociada con *S. macrophylla* y *Trattinickia burserifolia*. También son similares a los registros de Vásquez (2016), que determinó una altura comercial promedio de 11,43 m para plantaciones de 7 años instaladas en CIPTALD – Tulumayo en el departamento de Huánuco. Por otra parte, resultaron menores a los registros de Ferreira y Melo (2016) para plantaciones de 6 años; instaladas inicialmente a un distanciamiento de 2 m x 3 m. Ambos indican que la especie alcanza una altura comercial promedio de 15,72 m. Cabe mencionar que para *Schizolobium parahyba var. Amazonicum* los distanciamientos influyen en el crecimiento en dap mas no en el crecimiento en altura total (Da Silva 2016).

Finalmente, la prueba *t* de Student demostró que entre las parcelas 1 y 3 y las parcelas 1 y 4 no existieron diferencias significativas en la altura comercial. En los demás casos sí existió diferencia significativa.

La gráfica del área basal promedio mostró que la parcela 2 obtuvo el mayor resultado con 0,141 m<sup>2</sup>, seguido de la parcela 3 con 0,089 m<sup>2</sup> y la parcela 1 con 0,068 m<sup>2</sup>. La parcela 3 fue la menor con 0,056 m<sup>2</sup>. La prueba *t* de Student (Tabla 28) mostró que existió diferencias significativas entre el promedio de las parcelas 1 y 4; y entre el promedio de las parcelas 2 y 4. En los demás casos no existió diferencias significativas. No se reportaron datos de área basal para la especie.

En relación al volumen comercial promedio, la parcela 2 obtuvo el mayor resultado con 1,154 m<sup>3</sup>; seguido de las parcelas 4 y 1 con 0,513 m<sup>3</sup> y 0,481 m<sup>3</sup> respectivamente. La parcela 3 resultó la menor con 0,402 m<sup>3</sup>.

Estos promedios fueron mayores al volumen total calculado a partir de los datos tomados por Vásquez (2016) en plantaciones de *Schizolobium parahyba* instaladas en CIPTALD – Tulumayo en el departamento de Huánuco. Con los datos de dicho estudio se calculó un volumen total de 0,402 m<sup>3</sup>.

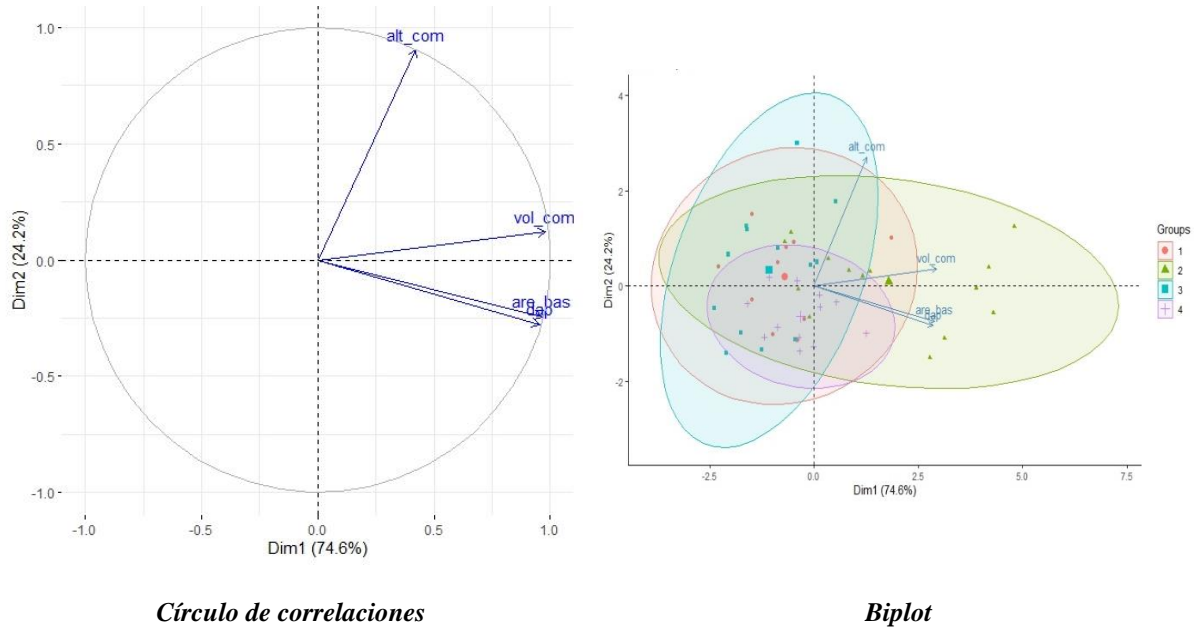
Finalmente, la prueba *t* de Student demostró que existió diferencia significativa entre los promedios de las parcelas 2 y 3; 2 y 4; y 3 y 4. En los demás casos, no existió diferencia significativa (Tabla 28).

**Tabla 28: Prueba *t* de Student para los indicadores de crecimiento de *Schizolobium amazonicum***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor	n.s.	p valor	n.s.	p valor	n.s.	p valor	n.s.
<b>1 - 2</b>	0.212	n.s.	0.002	*	0.151	n.s.	0.002	n.s.
<b>1 - 3</b>	0.326	n.s.	0.341	n.s.	0.975	n.s.	0.307	n.s.
<b>1 - 4</b>	0.495	n.s.	0.071	n.s.	0.045	*	0.086	n.s.
<b>2 - 3</b>	0.751	n.s.	0.000	*	0.264	n.s.	0.000	*
<b>2 - 4</b>	0.524	n.s.	0.015	*	0.000	*	0.012	*
<b>3 - 4</b>	0.743	n.s.	0.002	*	0.126	n.s.	0.002	*

El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 98,8 por ciento de la varianza de los datos (Figura 45). El círculo de correlaciones mostró que el dap, el área basal y el volumen comercial estuvieron correlacionados. El biplot mostró la similitud en el crecimiento de las parcelas 1, 3 y 4; cuyas elipses se traslapan. En el caso de la parcela 2, el biplot mostró que se diferencia de las otras parcelas dado que su elipse se distancia de las otras tres.

También, se pudo observar que el crecimiento de la mayoría de los individuos de la parcela 2 presentó mayores valores en dap, área basal y volumen comercial. Por el contrario, la mayoría de individuos de la parcela 1, 3 y 4 presentaron menores valores en los tres indicadores señalados.



**Figura 45: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento de *Schizolobium amazonicum***

#### 4.7.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Schizolobium amazonicum*

En la Figura 46 se muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las parcelas de *S. amazonicum*.

Las parcelas 1, 2 y 3, establecidas en sistemas agroforestales de 7 años de edad, obtuvieron un IMA que varió de 3,76 cm/año a 5,91 cm/año. La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 11 años de edad, obtuvo un IMA dap de 3,03 cm/año.

Estos resultados fueron mayores a los reportes de Flores (2019), que señala un IMA dap que varía de 1,4 cm/año a 2,4 cm/año. También fueron mayores a los registros de Palomino y Barra (2003) para sistemas agroforestales de 4 años de edad en Chanchamayo (departamento de Junín), donde determinaron un IMA dap de 3,6 cm/año. Asimismo, fueron superiores a los resultados presentados por Castro *et al.* (2015), que encontraron un IMA dap de 2,5 cm/año para

sistemas agroforestales de la especie de 5 años asociada con *S. macrophylla*, *Cordia goeldiana* y *Ananas comosus* var. *Erectifolius*.

El IMA  $h_c$  de las parcelas 1, 2 y 3 variaron de 1,55 m/año a 1,78 m/año. La literatura reporta incrementos anuales en altura total. Así, Castro *et al.* (2015) determinaron un IMA altura total de 1,77 m/año para un sistema agroforestal de 5 años de edad en asociación con *S. macrophylla*, *Cordia goeldiana* y *Ananas comosus* var. *Erectifolius*. Palomino y Barra (2003) reportaron un IMA altura total de 2,2 m/año para sistemas agroforestales de 4 años de edad instalados a 5 m x 5 m. El IMA  $h_c$  de la parcela 4, con 11 años de edad, fue de 0,80 m/año. Este resultado fue menor en comparación a las parcelas 1, 2 y 3.

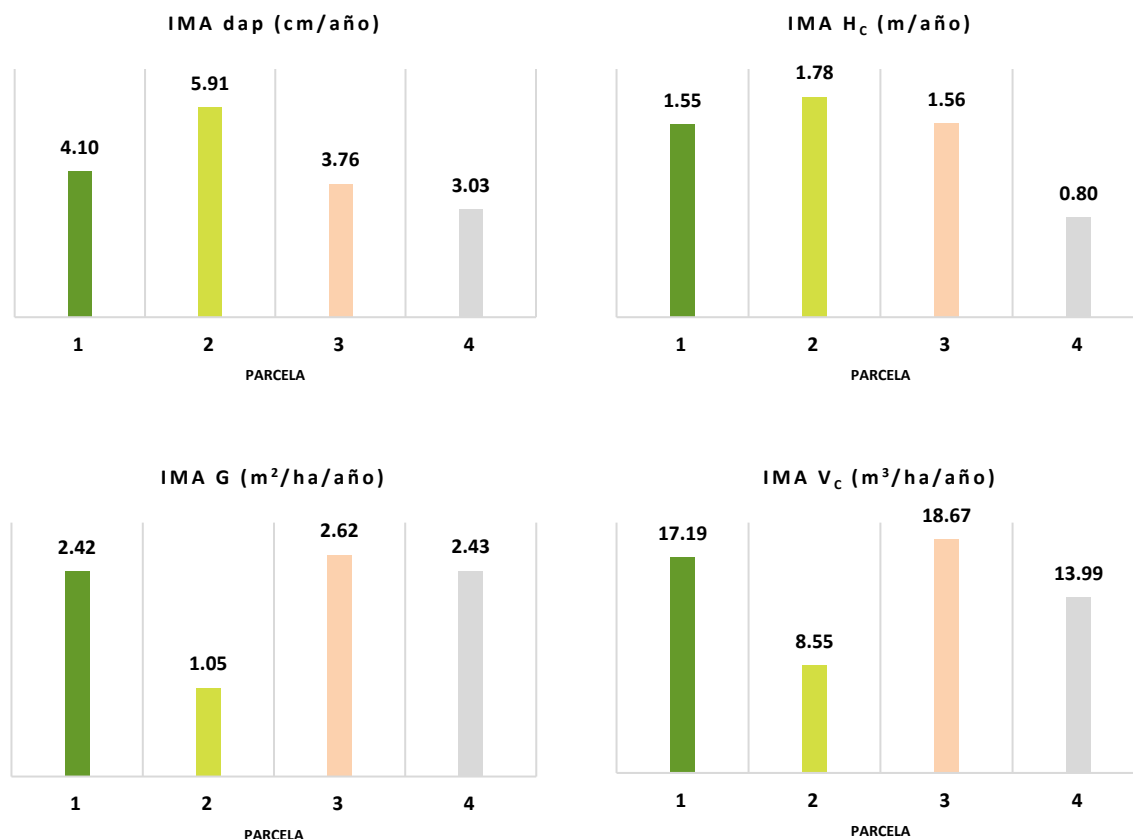
La parcela 3 obtuvo un IMA G de 2,62 m<sup>2</sup>/ha/año, seguido por la parcela 4 (2,43 m<sup>2</sup>/ha/año) y la parcela 1 (2,42 m<sup>2</sup>/ha/año). La parcela 2 obtuvo un IMA G de 1,05 m<sup>2</sup>/ha/año, el menor de todos.

Este resultado responde a la diferencia de la densidad de plantación en el momento de la evaluación. La parcela 3 se instaló en un sistema agroforestal con una densidad de 325 árboles/ha mientras que la parcela 2 se instaló en un sistema agroforestal con una densidad de 52 árboles/ha. A mayor densidad, el área basal aumenta porque este indicador combina el número de árboles por hectárea con la dimensión de cada árbol, representada mediante el área de la sección transversal (Gonzales 2011).

En relación al IMA  $V_c$ , la parcela 3 obtuvo el mayor resultado (18,67 m<sup>3</sup>/ha/año), seguida de las parcelas 1 y 4; con 17,19 m<sup>3</sup>/ha/año y 13,99 m<sup>3</sup>/ha/año respectivamente. Estos valores se encuentran dentro del rango de 12,0 m<sup>3</sup>/h/año a 39,0 m<sup>3</sup>/h/año indicado por Flores (2019) como característico para la especie. También se encuentran dentro del rango de 13 m<sup>3</sup>/ha/año a 25 m<sup>3</sup>/ha/año señalado por Falesi y Galeão (2002), que fueron citados por De Sousa *et al.* (2003).

Sin embargo, resultaron menores al IMA volumen total de 32,5 m<sup>3</sup>/ha/año para plantaciones de 4 años de edad instaladas a un distanciamiento de 3 m x 2 m, indicado por Souza *et al.* (2003),

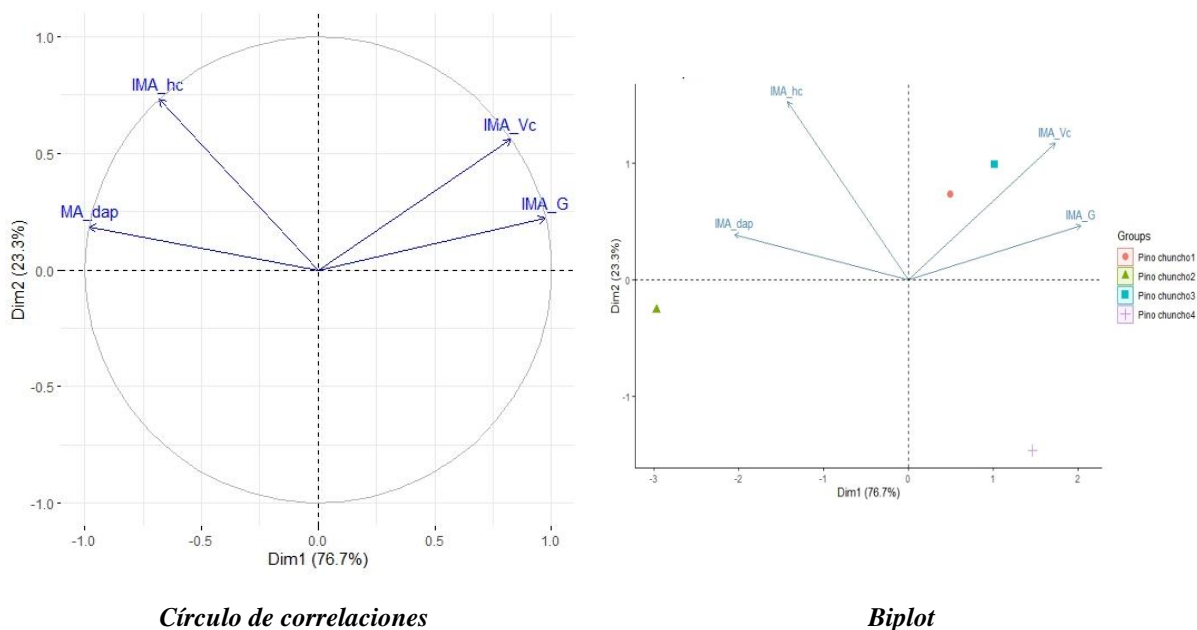
que fueron citados por De Sousa *et al.* (2003). También fueron menores al IMA volumen total de 46.68 m<sup>3</sup>/ha/año, calculado a partir de los datos reportados por Tonini *et al.* (2005).



**Figura 46: Indicadores de productividad de las cuatro parcelas de *Schizolobium amazonicum***

El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,9 por ciento de la varianza de los datos (Figura 47). El círculo de correlaciones mostró que el IMA G e IMA V<sub>c</sub> estuvieron correlacionados; así como el IMA dap e IMA h<sub>c</sub>. También mostró una correlación inversa entre el IMA G e IMA dap. El biplot mostró que el comportamiento de los indicadores de productividad varió en función de la parcela. De esta manera, la productividad de la parcela 1 y 3 estuvo caracterizada por el IMA V<sub>c</sub>; mientras que la productividad de la parcela 2 estuvo caracterizada por el IMA dap. El IMA

G e IMA V<sub>c</sub> no resultaron representativos en la caracterización de la productividad de la parcela 4.



**Figura 47: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para *Schizolobium amazonicum***

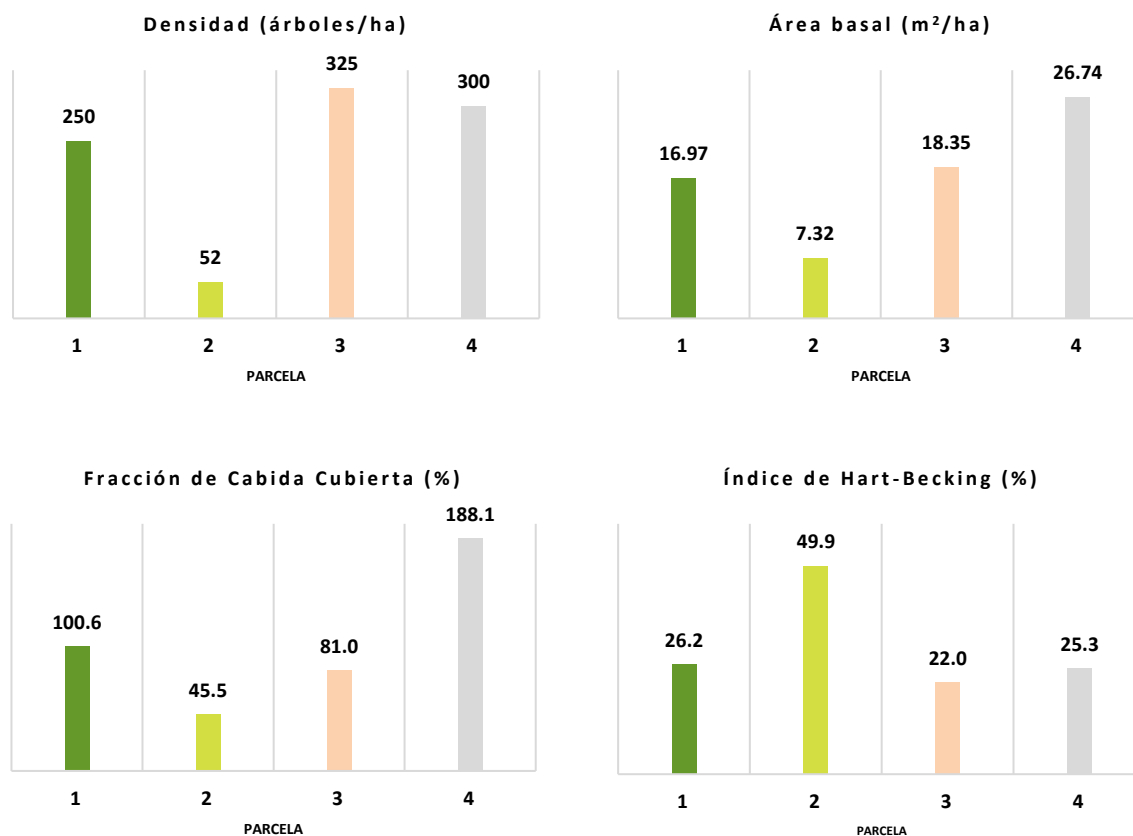
### 4.7.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Schizolobium amazonicum*

En la Figura 48 se muestra los resultados de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal evaluados en las cuatro parcelas de *S. amazonicum*.

Las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en sistemas agroforestales de 7 años de edad, obtuvieron un área basal de 16,97 m<sup>2</sup>/ha, 8,55 m<sup>2</sup>/ha y 18,35 m<sup>2</sup>/ha respectivamente. La parcela 4, instalada en un sistema agroforestal de 11 años de edad, obtuvo un área basal de 26,74 m<sup>2</sup>/ha, el mayor de las cuatro parcelas. Este resultado responde a la edad y la densidad de la parcela 4.



De acuerdo a Gonzáles (2011) el área basal de la parcela 2 calificó como clara; el área basal de la parcela 1 calificó como defectiva; y las áreas basales de las parcelas 3 y 4 calificaron como normales.

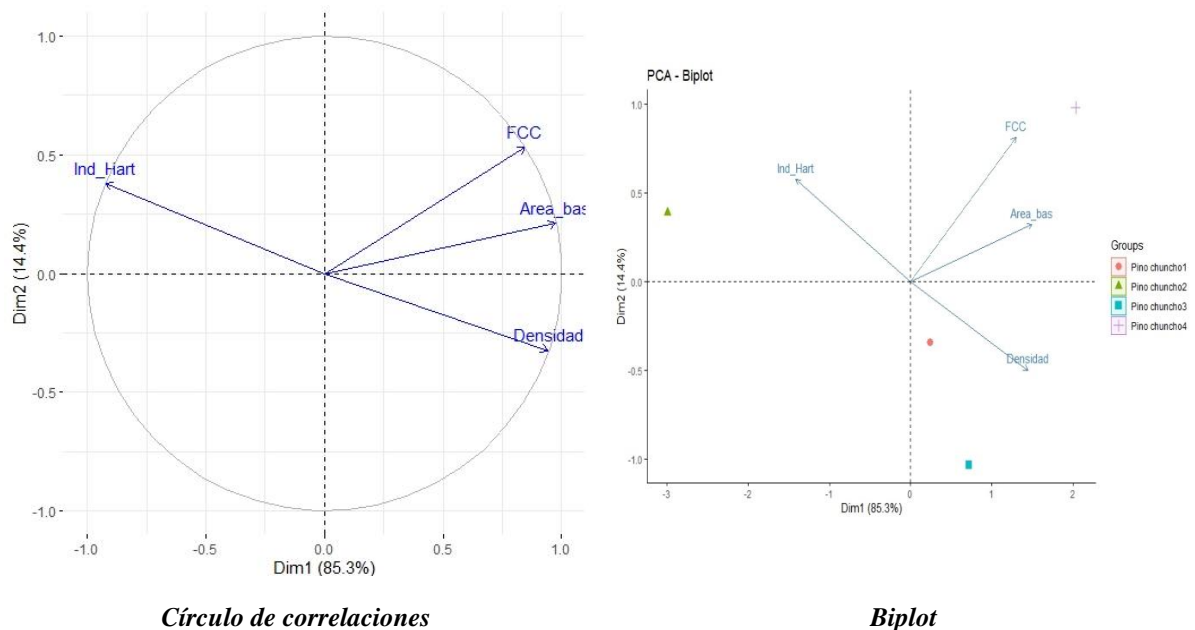


**Figura 48: Indicadores de espesura de masa forestal de las cuatro parcelas de *Schizolobium amazonicum***

En el caso de la densidad, las parcelas 1, 2 y 3 tuvieron 250 árboles/ha, 52 árboles/ha y 325 árboles/ha respectivamente. La parcela 4 tuvo una densidad de 300 árboles/ha. Otros estudios reportan densidades diferentes. De Sousa *et al.* (2003) estudió sistemas agroforestales de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* con cacao (*T. cacao*) con una densidad de 16 árboles/ha. Tonini *et al.* (2005) evaluó plantaciones puras de *S. amazonicum* de 7 años de edad con una densidad de 937 árboles/ha.

De acuerdo a las categorías de FCC propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), las parcelas 1, 3 y 4 calificaron como arbolado cerrado; mientras que la parcela 2 calificó como arbolado semicerrado.

De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado por Prodan *et al.* (1997), las cuatro parcelas tuvieron un raleo intenso, particularmente la parcela 2. El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,7 por ciento de la varianza de los datos (Figura 49). El círculo de correlaciones mostró que la densidad, el área basal y la FCC estuvieron directamente correlacionadas. El Índice de Hart-Becking estuvo inversamente correlacionada con los otros tres indicadores; en particular con la densidad. El biplot mostró que la densidad fue el indicador de espesura de masa forestal con mayor representatividad para las parcelas 1 y 3. Para el caso de la parcela 2 fue el Índice de Hart-Becking y para la parcela 4 fue el área basal y la Fracción de Cobertura.



**Figura 49: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Schizolobium amazonicum***

#### 4.7.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Schizolobium amazonicum*

Finalmente, en la Tabla 29 se presentan los resultados de pH y textura del suelo de las cuatro parcelas evaluadas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe, y la clasificación de Conti, respectivamente.

**Tabla 29. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Schizolobium amazonicum***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1	4,2	Fuertemente ácido	Franco arcillo arenoso	Media
2	6,1	Ligeramente ácido	Franco arcilloso	Moderadamente fina
3	5,3	Medianamente ácido	Franco arcilloso	Moderadamente fina
4*	5,6	Medianamente ácido	Arcilloso	Fina

\* FAO *et al.* (2009)

Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en sistemas agroforestales de 7 años de edad. La parcela 2 presentó valores de crecimiento y productividad mayores a las otras dos parcelas. Dicho resultado pudo estar relacionado a la menor densidad de esta plantación. La parcela 4 se instaló en un sistema agroforestal de 11 años de edad. Esta parcela presentó valores de crecimiento y productividad menores a las parcelas 1, 2 y 3; a pesar de tener más edad.

Los indicadores de espesura de masa forestal mostraron que todas las parcelas presentaron una espesura defectiva; resultado del mayor distanciamiento entre árboles, propio de sistemas agroforestales.

Al comparar los valores de crecimiento y productividad de estas parcelas con otros estudios se observó que fueron similares. Este resultado pudo estar relacionado al pH del suelo de las plantaciones evaluadas. La parcela 1 tuvo un pH de 4,2; calificando como fuertemente ácido. Magariños y Villegas (2006) señalan que la especie puede desarrollarse en diferentes tipos de

suelos, incluyendo suelo ácidos y muy pobres. La parcela 2 tuvo un pH de 6,1; calificando como ligeramente ácido. Flores (2019) señala que el rango óptimo de pH para *S. amazonicum* va de 4,5 a 6,0. Por último, las parcelas 3 y 4 tuvieron un pH de 5,3 y 5,6 respectivamente; calificando como medianamente ácido. Palomino y Barra (2003) señalan que la especie se desarrolla en suelos con pH de 4,0 a 6,5. Como indica Magariños y Villegas (2006), *S. amazonicum* crece en diferentes tipos de suelos.

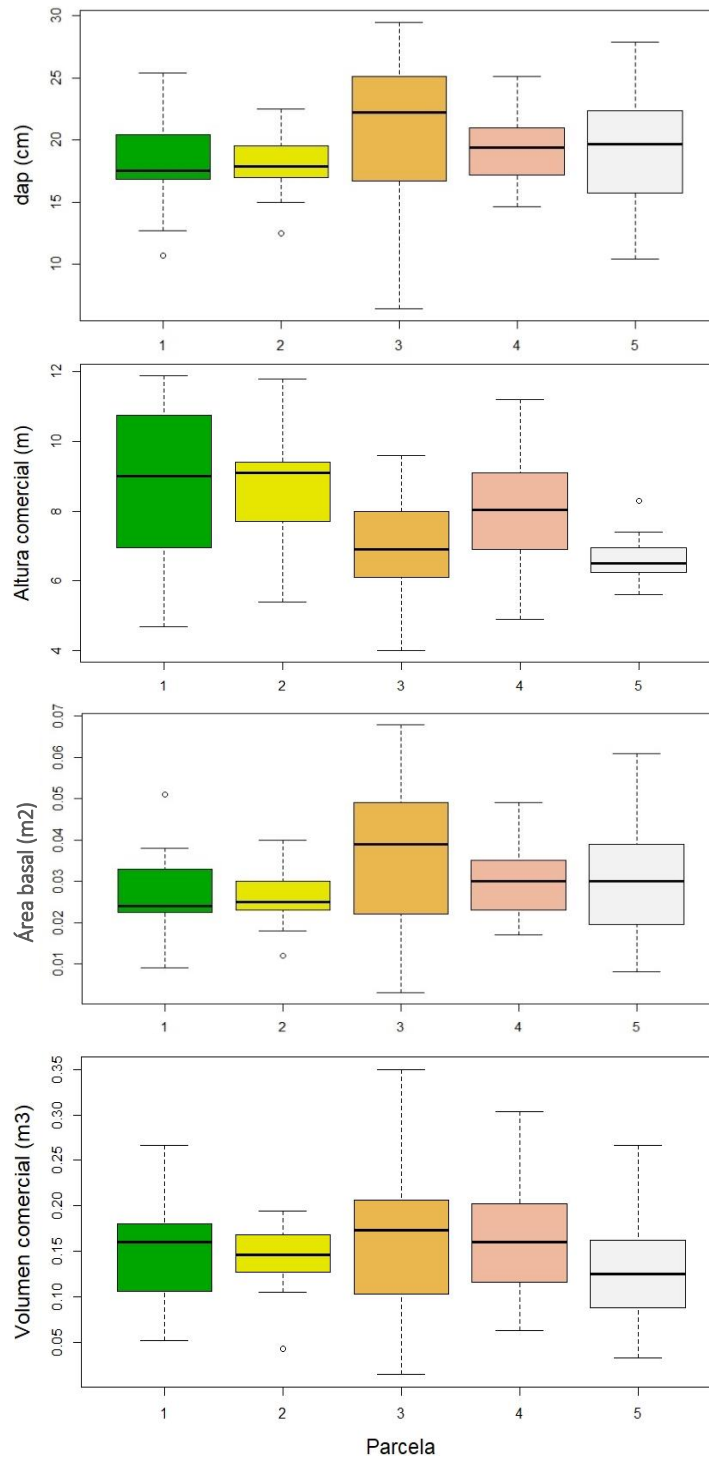
En relación a la textura, las parcelas se establecieron en suelos de textura media a fina. La parcela 1 presentó un suelo de textura franco arcillo arenoso. Las parcelas 2 y 3 presentaron un suelo de textura franco arcillo limoso. La parcela 4 presentó un suelo de textura arcillosa. Flores (2019) señala que la especie se desarrolla en estas clases texturales.

#### **4.8 SIMAROUBA AMARA AUBLET – “MARUPÁ”**

##### **4.8.1 Resultados de los indicadores de crecimiento en *Simarouba amara***

La Figura 50 muestra el diagrama de caja de los indicadores de crecimiento para las cinco parcelas de *S. amara* instaladas durante la ejecución del *Proyecto Innovación en el uso de maderas Fases 2 y 3*. Las parcelas 1, 2, 3 y 5 fueron instaladas en plantaciones mixtas de la Empresa Bosques Amazónicos; mientras que la parcela 4 fue instalada en una plantación pura de la Empresa Reforestadora Latinoamericana.

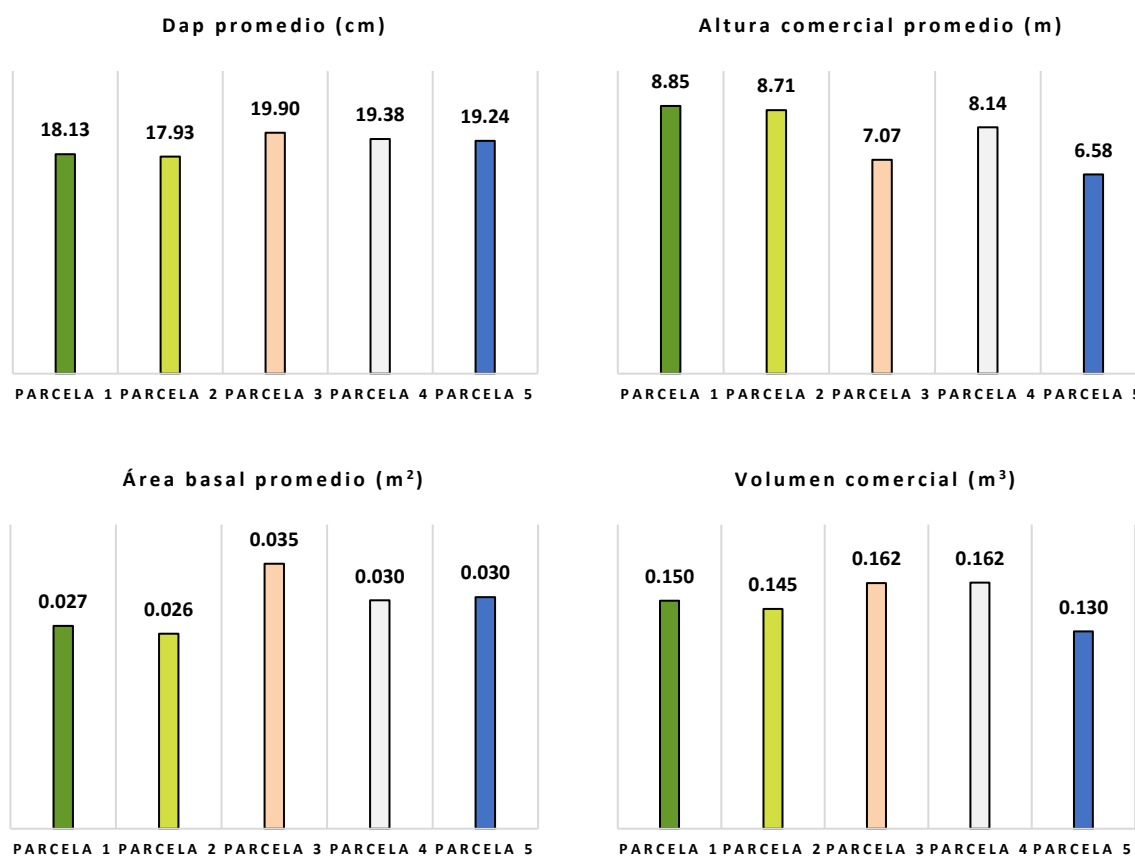
En general, se pudo observar que las cinco plantaciones presentaron crecimientos similares. Este resultado pudo deberse a la similitud en las edades de plantación. En el momento de la evaluación las plantaciones 1, 2 y 3 tenían 9 años; y las plantaciones 4 y 5 tenían 11 años. En ese sentido, Ugarte y Román (2020) señalan que las tasas de crecimiento están influenciadas, entre otros factores, por la edad de plantación.



**Figura 50: Diagrama de cajas de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de *Simarouba amara***

Las parcelas 3 y 5 presentaron datos dispersos para dap y área basal. En el caso de altura comercial, la parcela 1 presentó datos dispersos y, en menor medida, las parcelas 2, 3 y 4. Se pudo observar, además, que la parcela 2 presentó datos poco dispersos, lo que los árboles de esta plantación tuvieron un crecimiento uniforme.

La Figura 51 presenta los promedios de los indicadores de crecimiento de las plantaciones de *S. amara* evaluadas.



**Figura 51: Promedio de los indicadores de crecimiento de las cinco parcelas de *Simarouba amara***

De las tres primeras parcelas, de 9 años de edad, la parcela 3 obtuvo el mayor dap promedio (19,9 cm); seguida de la parcela 1 (con 18,13 cm) y la parcela 2 (con 17,93 cm). Las parcelas 4 y 5, de 11 años de edad, obtuvieron 19,38 cm y 19,24 cm de dap promedio correspondientemente. A pesar de tener más edad, estas dos parcelas obtuvieron un dap

promedio menor al de la parcela 3. Cabe resaltar que la prueba *t* de Student demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de dap de las cinco parcelas (Tabla 30).

Estos resultados fueron mayores al dap promedio de 18,4 cm reportado por Claussi *et al.* (1992) para plantaciones de *S. amara* de 12,4 años de edad instaladas a un distanciamiento de 3 m x 3m en el Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera (departamento de Loreto). También resultaron superiores a los registros de Flores *et al.* (2004) para plantaciones de 20 años de edad instaladas en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali), donde el dap promedio fue 16,23 cm. Asimismo, resultaron similares a plantaciones de 13,7 años ubicadas en el sector El Cañal en el Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera (departamento de Loreto), que de acuerdo a la clasificación de índices de sitio de Paredes (2003), calificaron como de clase alta.

Comparando estos resultados con plantaciones de mayor edad, se observó que a pesar de éstas tienen un dap promedio superior, la diferencia no es marcante. Por ejemplo, Mojena (2017) determinó un dap promedio de 20,91 cm para plantaciones de 15 años instaladas a un distanciamiento de 4 m x 3 m en la región de Sinop (estado de Mato Grosso, Brasil).

En relación a la altura comercial promedio, las parcelas 1 y 2 obtuvieron resultados estadísticamente similares (Tabla 30), con 8,85 m y 8,71 m respectivamente. La altura comercial promedio de la parcela 3 fue 7,07 m; estadísticamente diferente a las otras parcelas, excepto la parcela 5.

Las parcelas 4 y 5 tuvieron una altura comercial promedio de 8,14 m y 6,58 m respectivamente. El promedio de altura comercial de la parcela 4 fue similar estadísticamente a la parcela 1 y 2; mientras que el promedio de altura comercial de la parcela 5 fue diferente estadísticamente a dichas parcelas (Tabla 30).

Los valores de altura comercial promedio de las parcelas 1, 2 y 4 resultaron mayores a los señalados por Flores *et al.* (2004), quienes registraron una altura comercial promedio de 8,21 m para plantaciones de 20 años.

Por el contrario, resultaron menores a los 11,15 m reportados por Amasifuen (2017) para plantaciones de 33 años instaladas en el CIEFOR – Puerto Almendra (Loreto, Perú) bajo un distanciamiento de 3,5 m x 3,5 m. También resultaron menores a los 11,7 m indicados por Rolim y Piotto (2018) en su evaluación de fajas de enriquecimiento experimentales de 35 años en Linhares (estado de Espírito Santo, Brasil). Se debe remarcar que, para un correcto análisis de estos datos, se debe considerar la diferencia de edad entre las plantaciones.

Complementariamente, cabe señalar que, en plantaciones a campo abierto, *S. amara* requiere de podas (Rolim y Piotto 2018). La correcta aplicación de este tratamiento silvicultural influenciará en la altura comercial.

**Tabla 30: Prueba *t* de Student para los indicadores de crecimiento de *Simarouba amara***

Parcelas	dap (cm)		Altura comercial (m)		Área basal (m <sup>2</sup> )		Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
	p valor	n.s.	p valor	n.s.	p valor	n.s.	p valor	n.s.
1 - 2	0.843	n.s.	0.839	n.s.	0.714	n.s.	0.749	n.s.
1 - 3	0.340	n.s.	0.010	*	0.121	n.s.	0.670	n.s.
1 - 4	0.158	n.s.	0.204	n.s.	0.202	n.s.	0.501	n.s.
1 - 5	0.379	n.s.	0.000	*	0.316	n.s.	0.278	n.s.
2 - 3	0.286	n.s.	0.003	*	0.079	n.s.	0.515	n.s.
2 - 4	0.067	n.s.	0.232	n.s.	0.066	n.s.	0.289	n.s.
2 - 5	0.269	n.s.	0.000	*	0.179	n.s.	0.355	n.s.
3 - 4	0.721	n.s.	0.020	*	0.250	n.s.	0.989	n.s.
3 - 5	0.731	n.s.	0.172	n.s.	0.427	n.s.	0.229	n.s.
4 - 5	0.886	n.s.	0.000	*	0.892	n.s.	0.062	n.s.

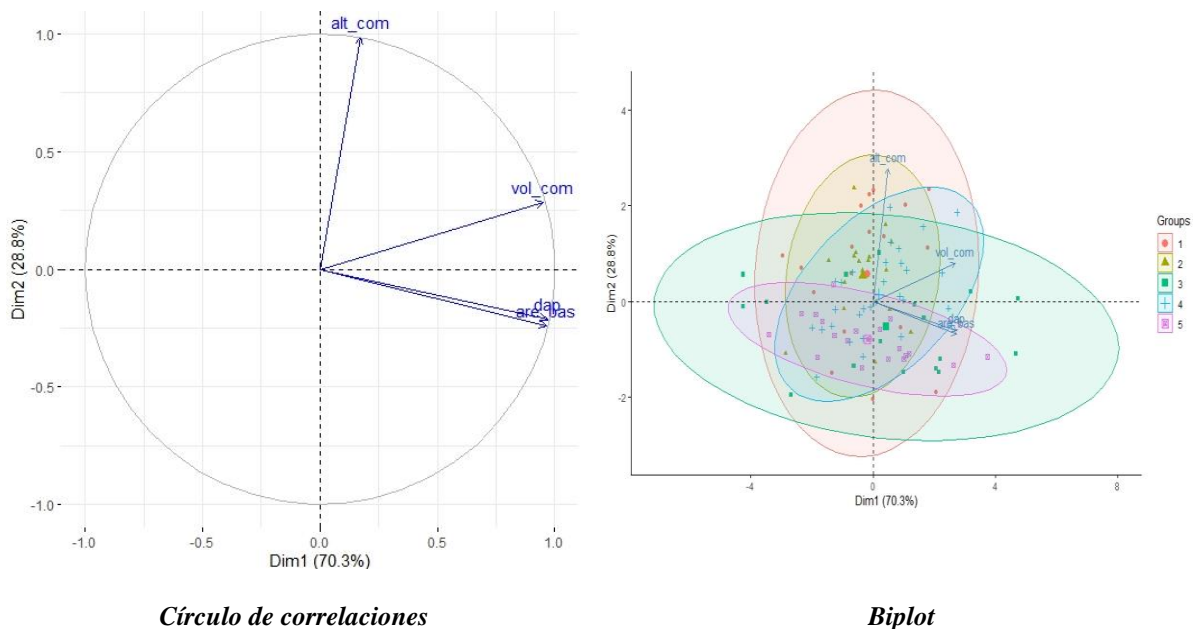
En el caso del área basal, la parcela 3 obtuvo el mayor promedio (0,035 m<sup>2</sup>), seguida de la parcela 4 y 5, con 0.030 m<sup>2</sup> cada una. Las parcelas 1 y 2 alcanzaron un promedio de 0,027 m<sup>2</sup> y



0,026 m<sup>2</sup> correspondientemente. De acuerdo a la prueba *t* de Student, no existieron diferencias estadísticas entre los promedios del área basal de las cinco parcelas (Tabla 30).

En relación al volumen comercial promedio, las parcelas 3 y 4 obtuvieron 0,162 m<sup>3</sup>. Siguieron las parcelas 1 y 2 con 0,150 m<sup>3</sup> y 0,145 m<sup>3</sup> respectivamente. Por último, la parcela 5 obtuvo 0,130 m<sup>3</sup>. La prueba *t* de Student demostró que no existieron diferencias significativas entre los volúmenes comerciales de las cinco parcelas (Tabla 30).

Para *S. amara* no se encontraron datos de área de sección normal y volumen comercial publicados.



**Figura 52: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de crecimiento de *Simarouba amara***

El PCA de los indicadores de crecimiento mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 99,1 por ciento de la varianza de los datos (Figura 52). El círculo de correlaciones mostró que el dap, el área basal y el volumen comercial estuvieron correlacionados. El biplot mostró que el crecimiento de la mayoría de los individuos de la parcela 2 está fuertemente relacionado a la altura comercial; mientras que para la parcela 4 está fuertemente relacionado a la altura y volumen comerciales. En el caso de la parcela 5 estos dos

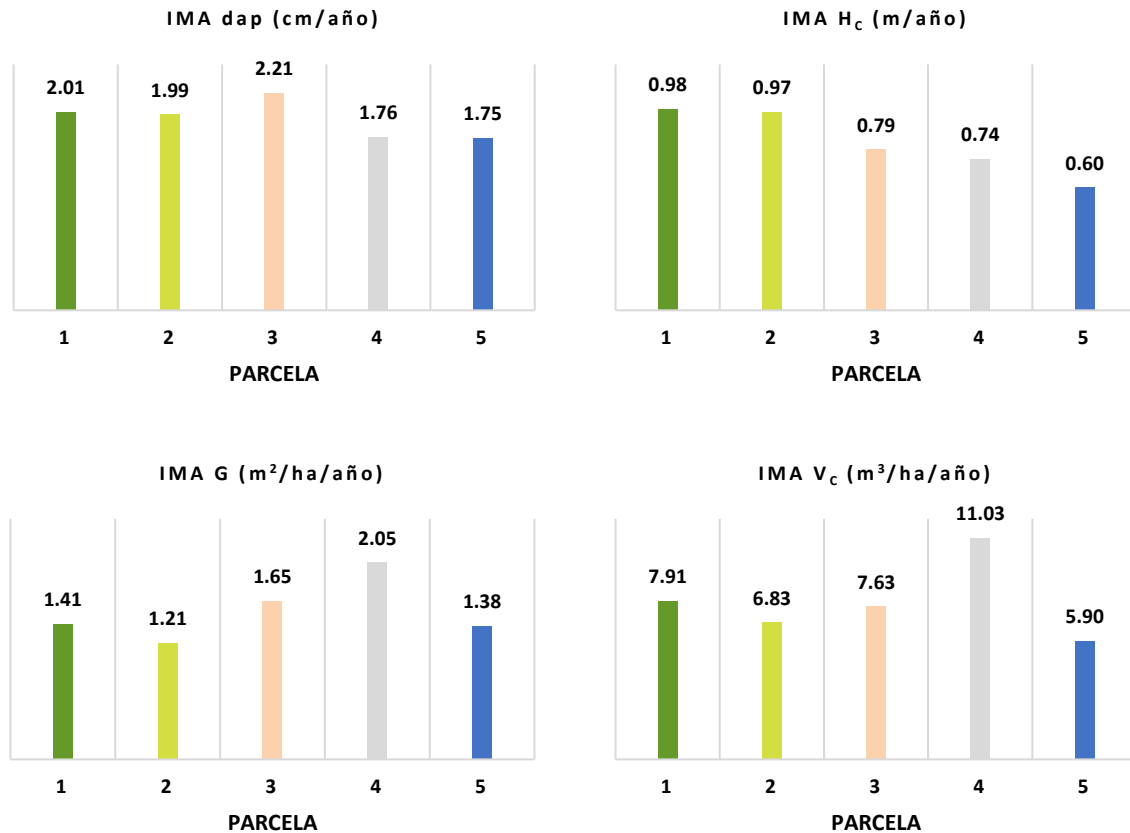
indicadores de crecimiento no fueron representativos. Para las parcelas 1 y 3 se pudo observar que los cuatro indicadores de crecimiento las caracterizan.

#### **4.8.2 Resultados de los indicadores de productividad en *Simarouba amara***

En la Figura 53 se muestra los resultados de los cuatro indicadores de productividad evaluados en las cinco parcelas de *S. amara*.

Las parcelas 1, 2 y 3, instaladas en plantaciones mixtas de 9 años de edad, presentaron 2,01 cm/año, 1,99 cm/año y 2,21 cm/año de IMA dap correspondientemente. La parcela 4, instalada en una plantación pura de 11 años; y la parcela 5, instalada en una plantación mixta de 11 años, obtuvieron 1,76 cm/año y 1,75 cm/año respectivamente.

Dichos IMA dap fueron mayores a los indicados en otros estudios. Flores *et al.* (2004) reporta para plantaciones puras instaladas en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt un IMA dap de 0,87 cm/año. Calificaron este valor como bajo al compararlo con los resultados de Claussi *et al.* (1992) que registraron un IMA dap de 1,29 cm/año para plantaciones puras de 18 años instaladas en el Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera. Rolim y Piotto (2018) indican un IMA dap de 0,93 cm/año en fajas de enriquecimiento experimentales de 35 años en Linhares (estado de Espírito Santo, Brasil). Para el caso de plantaciones mixtas, Wandelli y Araújo (2013) reportaron un IMA dap de 1,46 cm/año para un sistema silvopastoril con *S. amara* y *Cariniana micrantha* de 11 años en Manaus (Brasil). Por último, Carvalho (2008), citado por Barbosa *et al.* (2021), señala que la especie alcanza en plantaciones puras el IMA dap de 1,5 cm/año a los 13 años.



**Figura 53: Indicadores de productividad de las cinco parcelas de *Simarouba amara***

Al contrario, los IMA dap de las cinco parcelas fueron menores al IMA dap de 2,2 cm/año indicado por Ugarte y Román (2009) para plantaciones de la especie en el departamento de Ucayali.

En referencia al IMA h<sub>c</sub>, la parcela 1 y 2 presentaron los mayores resultados, con 0,98 m/año y 0,97 m/año respectivamente. Siguieron las parcelas 3 y 4 con 0,79 m/año y 0,74 m/año correspondientemente. Por último, la parcela 5 obtuvo 0,60 m/año.

En la literatura se registran datos de IMA altura total. Flores *et al.* (2004) reportaron para plantaciones puras de 20 años en el bosque Alexander Von Humboldt (departamento de Ucayali) un IMA altura total de 0,75 m/año. Wandelli y Araújo (2013) determinaron un IMA altura total

de 1,50 m/año para sistemas silvopastoriles en Manaus (Brasil). Campos y Rodrigues (2015) indican un IMA altura total de 1,26 m/año en plantaciones de 13 años.

En el caso del IMA G, la parcela 4 obtuvo 2,05 m<sup>2</sup>/ha/año, seguidas de las parcelas 3, 1 y 5; con 1,65 m<sup>2</sup>/ha/año; 1,41 m<sup>2</sup>/ha/año y 1,38 m<sup>2</sup>/ha/año respectivamente. Por último, el IMA G de la parcela 2 fue 1,21 m<sup>2</sup>/ha/año. La parcela 4 obtuvo el mayor IMA G a pesar de tener un IMA dap menor; ello fue resultado de su alta densidad como plantación pura (750 árboles/ha).

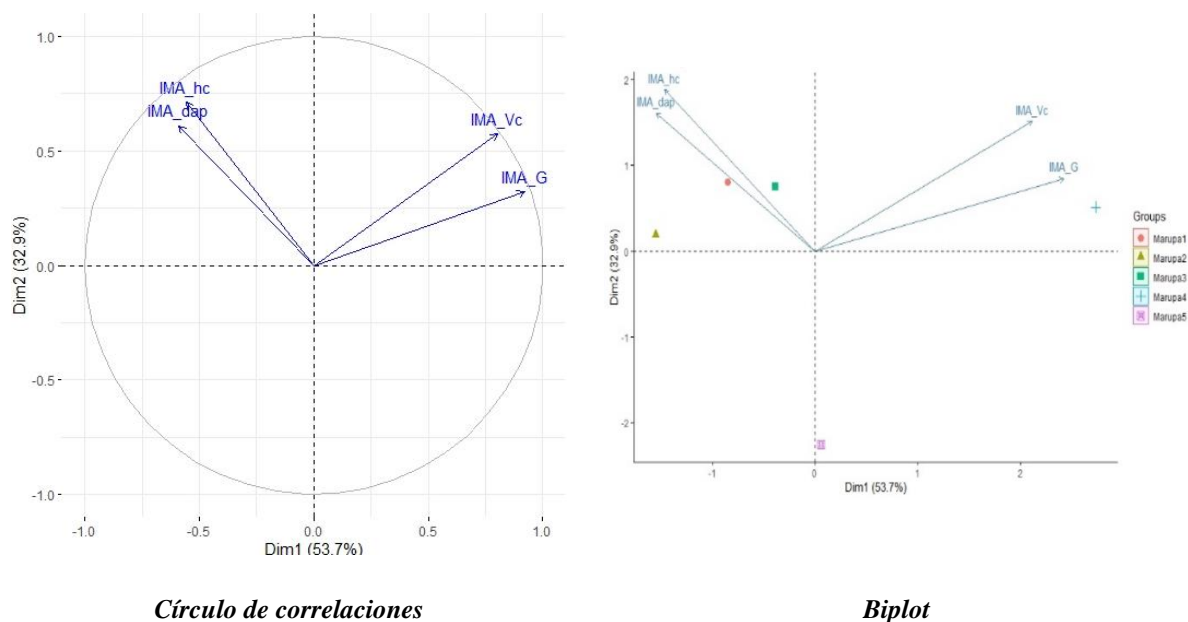
Para comparar estos resultados se calculó el IMA G a partir de datos reportados en otros estudios. Así, para plantaciones puras de 20 años de edad en el bosque Alexander von Humboldt (departamento de Ucayali) se calculó un IMA G de 0,81 m<sup>2</sup>/ha/año (Flores *et al.* 2004). Por otro lado, para plantaciones puras de 15 años en la región de Sinop (estado de Mato Grosso, Brasil) se calculó un IMA G de 1,39 m<sup>2</sup>/ha/año (Mojena 2017). En general, ambos cálculos fueron menores a los IMA G de las cinco parcelas en estudio.

En relación al IMA V<sub>c</sub>, la parcela 4 obtuvo 11,03 m<sup>3</sup>/ha/año; seguida de las parcelas 1, 3 y 2; con 7,91 m<sup>3</sup>/ha/año, 7,63 m<sup>3</sup>/ha/año y 6,83 m<sup>3</sup>/ha/año. Por último, la parcela 5 presentó 5,90 m<sup>3</sup>/ha/año. El mayor IMA V<sub>c</sub> de la parcela 4 estuvo vinculado a su alta densidad (750 árboles/ha).

Otras investigaciones muestran resultados variados. Flores *et al.* (2004) reportaron un IMA volumen de 6,80 m<sup>3</sup>/ha/año en plantaciones de 20 años. Claussi *et al.* (1992) determinaron un IMA volumen total de 16,76 m<sup>3</sup>/ha/año para plantaciones en Jenaro Herrera, que en el momento de la evaluación tenían 800 árboles/ha. Rolim y Piotto (2018) estimaron un IMA volumen de 7,3 m<sup>3</sup>/ha/año en fajas de enriquecimiento.

El PCA de los indicadores de productividad mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 86,6 por ciento de la varianza de los datos (Figura 54). El círculo de correlaciones mostró que el IMA G e IMA V<sub>c</sub> estuvieron correlacionados; así como el IMA dap e IMA h<sub>c</sub>. El biplot mostró que el comportamiento de los indicadores de productividad varió en función de la parcela. De esta manera, la productividad de las parcelas

1, 2 y 3 estuvo caracterizadas por el IMA dap e IMA hc; mientras que la productividad de la parcela 4 estuvo representada principalmente por el IMA G e IMA Vc. En la productividad de la parcela 5 ninguno de los indicadores destacó.



**Figura 54: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de productividad para *Simarouba amara***

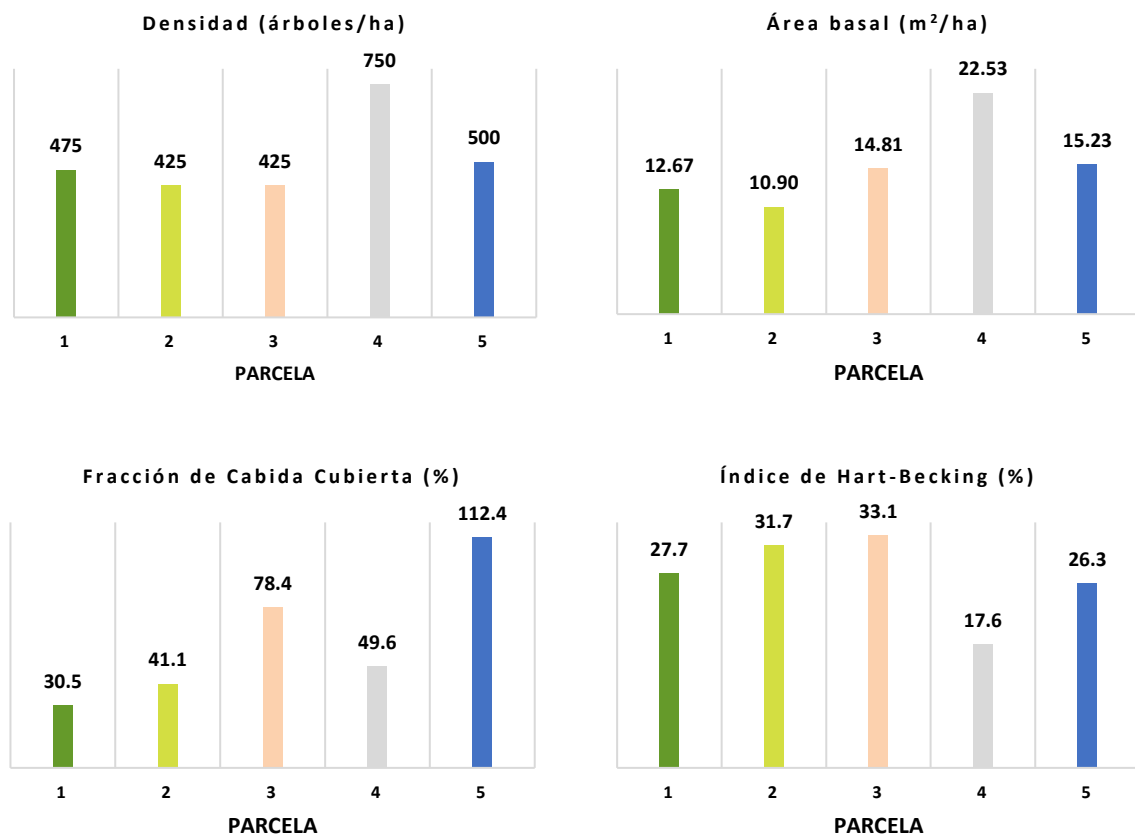
#### 4.8.3 Resultados de los indicadores de espesura de masa forestal en *Simarouba amara*

En la Figura 55 se muestra los resultados de los cuatro indicadores de espesura de masa forestal evaluados en las cinco parcelas de *S. amara*.

Las parcelas 1,2 y 3, instadas en plantaciones mixtas de 9 años de edad, obtuvieron un área basal de 12,67 m<sup>2</sup>/ha, 10,90 m<sup>2</sup>/ha y 14,81 m<sup>2</sup>/ha respectivamente. Dichos resultados estuvieron relacionados al crecimiento diamétrico y no a la densidad. La parcela 4, instalada en una plantación pura de 11 años, y la parcela 5, instalada en una plantación mixta de 11 años,

obtuvieron un área basal de 22,53 m<sup>2</sup>/ha y 15,23 m<sup>2</sup>/ha. Estos resultados estuvieron relacionados a la densidad y no al crecimiento diamétrico.

Respecto a la densidad, la parcela 4 presentó el mayor valor ((750 árboles/ha). Siguieron las parcelas 5 y 1, con 500 árboles/ha y 475 árboles/ha correspondientemente. Por último, las parcelas 2 y 3 tuvieron 425 árboles/ha cada una.

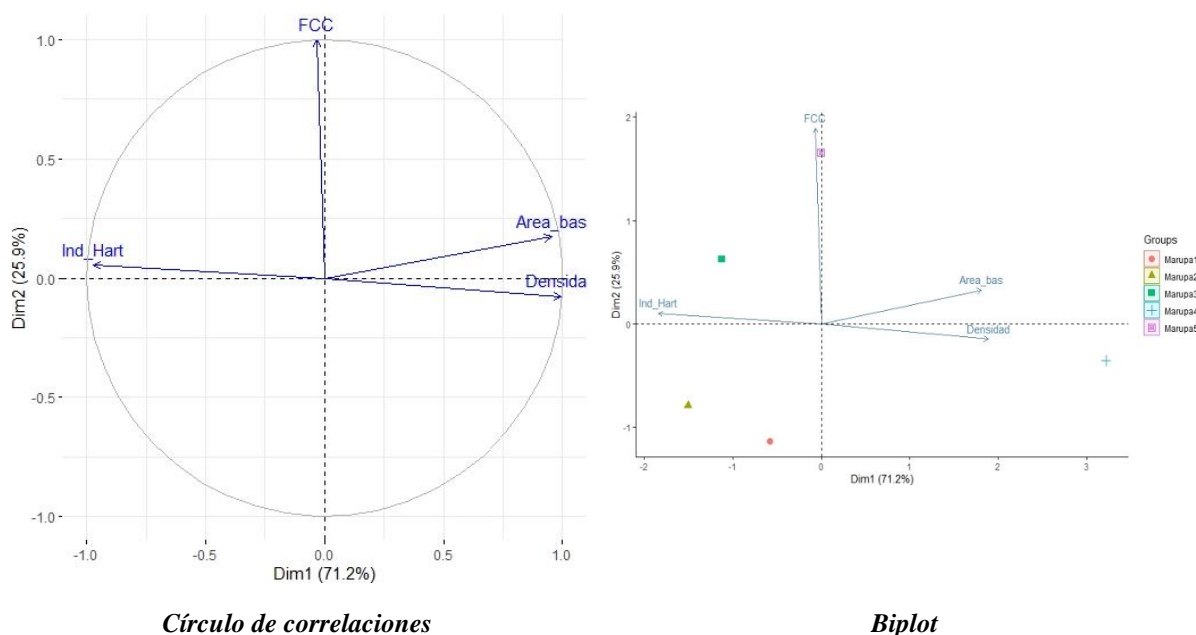


**Figura 55: Indicadores de espesura de masa forestal de las cinco parcelas de *Simarouba amara***

Los resultados de otras investigaciones son variados. Claussi *et al.* (1992) estimaron un área basal de 22,09 m<sup>2</sup>/ha para plantaciones puras de 12,4 años con una densidad de 800 árboles/ha. Flores *et al.* (2004) encontraron un área basal de 16,17 m<sup>2</sup>/ha para plantaciones puras de 20 años. Mojena (2017) estimó un área basal de 20,9 m<sup>2</sup>/ha en plantaciones de 15 años instaladas a un distanciamiento de 4 m x 3 m en la región de Sinop (estado de Mato Grosso, Brasil).

De acuerdo a la clasificación de espesura de masa en base al área basal propuesta de Gonzáles (2011), el área basal de las parcelas 1 y 2 calificó como clara; el área basal de las parcelas 3 y 5 calificó como defectiva; y el área basal de la parcela 4 calificó como normal.

De acuerdo a las categorías de FCC propuestas por la Consejería del Ambiente de la Junta de Castilla y León (2010), la parcela 1 calificó como abierta; las parcelas 2 y 4 calificaron como arbolado semicerrado; y las parcelas 3 y 5 como arbolado cerrado.



**Figura 56: Análisis de Componentes Principales de los indicadores de espesura de masa forestal de *Simarouba amara***

De acuerdo a los resultados del Índice de Hart-Becking y tomando en cuenta lo señalado por Prodan *et al.* (1997), las parcelas 1, 2, 3 y 5 habrían recibido un raleo; mientras que para la parcela 4 aún no se debería recomendar un raleo.

El PCA de los indicadores de espesura de masa forestal mostró que las dos primeras componentes principales llegaron a explicar el 96,7 por ciento de la varianza de los datos (Figura 56). El círculo de correlaciones mostró que el área basal y la densidad estuvieron directamente

correlacionadas y que estos dos indicadores estuvieron inversamente correlacionados con el Índice de Hart-Becking. La FCC no estuvo relacionada con ningún otro indicador de espesura de masa forestal. El biplot mostró que el área basal fue un indicador representativo en la parcela 4, como lo fue la FCC para la parcela 5. El índice de Hart-Becking fue representativo para las parcelas 2 y 3. Para la parcela 1 ningún indicador fue determinante en la caracterización de su espesura de masa forestal.

#### 4.8.4 Relación entre indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal con la edad y las condiciones de suelo en *Simarouba amara*

Finalmente, en la Tabla 31 se presentan los resultados de pH y textura del suelo de las cinco parcelas evaluadas. Asimismo, se indica la clasificación de pH y textura; basadas en la Clasificación de Scheffer y Schachtschabe, y la clasificación de Conti, respectivamente.

**Tabla 31. Clasificación del pH y la textura de las parcelas de *Simarouba amara***

Parcela	pH		Textura	
	Valor	Clasificación	Clase textural	Clasificación
1	6,9	Ligeramente ácido	Franco arenoso	Moderadamente gruesa
2	6,6	Ligeramente ácido	Franco arenoso	Moderadamente gruesa
3	6,8	Ligeramente ácido	Franco arenoso	Moderadamente gruesa
4	4,0	Fuertemente ácido	Franco	Moderadamente gruesa
5	6,8	Ligeramente ácido	Franco arenoso	Moderadamente gruesa

Las parcelas 1, 2 y 3 se instalaron en plantaciones mixtas de 9 años de edad. En cuanto a los indicadores de espesura de masa forestal, las tres parcelas presentaron una espesura de defectiva a normal. Las condiciones de pH y textura de las tres parcelas fueron similares. Presentaron un pH ligeramente ácido y una textura moderadamente gruesa. Aun cuando dichas condiciones fueron similares, la parcela 3 presentó valores de crecimiento y productividad mayores a las otras dos parcelas.



La parcela 4 se instaló en una plantación pura de 11 años de edad y la parcela 5 se instaló en una plantación mixta de 11 años de edad. Ambas presentaron un IMA<sub>dap</sub> e IMA<sub>hc</sub> menores a las parcelas 1, 2 y 3. Se estableció en un suelo con pH fuertemente ácido y de textura moderadamente gruesa. La parcela 5 se estableció en un suelo de pH ligeramente ácido y de textura moderadamente gruesa. A pesar de la marcada diferencia de pH, los valores de crecimiento y productividad de ambas parcelas fueron similares.

Al comparar los valores de crecimiento y productividad de las cinco parcelas con otras investigaciones se observó que presentaron mayores valores. Este resultado podría estar relacionado a la textura del suelo. Longwood (1962) señala que la especie prefiere suelos arenosos; y Lao y Flores (1972), citados por Delgado y Couturier (2008), mencionan, además, a suelos areno limosos de buen drenaje. Reynel *et al.* (2003) también señalan que *S. amara* requiere suelos bien drenados. Los suelos de las cinco parcelas tuvieron texturas moderadamente gruesas, que facilitan el drenaje del agua.

En cuanto al pH, la información bibliográfica es limitada. Flores (2019) menciona que la especie puede instalarse en suelo ácidos, que sería el caso de la parcela 4.

#### **4.9 TABLA DE INDICADORES DE CRECIMIENTO, PRODUCTIVIDAD Y ESPESURA DE MASA FORESTAL**

En la tabla 32 se presentan los indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal obtenidos para las ocho especies en estudio. Estos indicadores se relacionaron con la edad de la plantación y condiciones de pH y textura del suelo.

Además, presenta la clasificación del pH en base a la propuesta de Scheffer y Schachtschabe (Conti 2007), y la clasificación de la textura en base a la propuesta de Conti (2007).

Por último, muestra la calificación que obtuvo la parcela cuando fue comparada con los resultados de otras investigaciones desarrolladas en plantaciones de condiciones similares. Se emplearon tres calificativos:

- Mayor (>), cuando los resultados de la parcela fueron mayores a los resultados reportados en otras investigaciones.
- Similar (=), cuando los resultados de la parcela se encontraron dentro del rango de resultados presentados en otras investigaciones.
- Menor (<), cuando los resultados de la parcela fueron menores a los resultados reportados en otras investigaciones.

Cabe indicar que la tabla de indicadores constituye una línea base que ofrece, de manera relacionada, información de crecimiento, productividad, espesura de masa forestal, edad de plantación y condiciones de suelo.

Esta información puede tener muchas aplicaciones:

- Comparar el desarrollo de plantaciones forestales de las especies estudiadas con los datos reportados en esta investigación.
- Orientar futuros estudios sobre crecimiento, productividad y espesura de masa forestal.
- Servir como información base para investigaciones de calidad de sitio de especies forestales.

Finalmente, resta señalar que la información de estos indicadores estudiados puede ser mejorada en el futuro. Por ejemplo, investigaciones sobre el factor de forma de las especies ofrecerán valores de volumen comercial e incremento medio anual en volumen más precisos.

**Tabla 32. Indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal de las ocho especies en estudio**

Especie	Parcela	Tipo de plantación	Indicadores de crecimiento				Indicadores de productividad				Índices de espesura de masa forestal				Edad	pH	Clas. (*)	Textura	Clas. (**)	Calificación
			dap promedio (cm)	hc promedio (m)	g promedio (m <sup>2</sup> )	Vc promedio (m <sup>3</sup> )	IMA dap (cm/año)	IMA hc (m/año)	IMA G (m <sup>2</sup> /ha/año)	IMA Vc (m <sup>3</sup> /ha/año)	Densidad (árboles/ha)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	FCC (%)	Índice de Hart-Becking (%)						
<i>C. spruceanum</i>	1	PP	26.81	12.26	0.059	0.466	1.41	0.65	0.98	7.75	316	18.64	93.9	26.7	19	5.7	MA	FrArA	M	<
	2	PP	24.67	12.50	0.050	0.422	1.30	0.66	0.94	7.93	357	17.95	69.5	26.3	19	5.6	MA	Ar	F	<
	3	PP	24.22	13.79	0.048	0.433	1.27	0.73	1.01	9.17	403	19.19	87.3	23.7	19	6.3	LA	Ar	F	<
	4	SAF	24.26	5.94	0.048	0.187	2.21	0.54	1.08	4.24	250	11.90	90.5	32.7	11	6.9	LA	Ar	F	<
<i>C. cateniformis</i>	1	PP	54.78	8.74	0.240	1.396	3.22	0.51	0.26	1.51	18	4.43	19.0	98.4	17	3.9	EA	Fr	MG	>
	2 <sup>#</sup>	PP	22.13	11.93	0.052	0.488	1.48	0.80	1.25	11.65	359	18.71	110.3	25.4	15	4.7	FA	Ar	F	<
	3	PP	65.40	11.62	0.370	2.849	1.87	0.33	1.53	11.82	145	53.69	155.4	25.0	35	3.7	EA	AFr	G	=
	4	SAF	48.89	10.65	0.196	1.340	1.63	0.35	2.77	18.99	425	83.1	188.8	17.9	30	6.7	LA	FrAr	MF	=
<i>D. ferrea</i>	1 <sup>#</sup>	PP	28.76	16.34	0.069	0.761	1.25	0.71	2.80	30.62	925	64.31	271.2	12.8	23	4.6	FA	Ar	F	=
	2 <sup>#</sup>	PP	22.43	10.63	0.045	0.323	0.98	0.46	1.24	8.95	638	28.48	129.2	21.9	23	4.6	FA	Ar	F	<
	3 <sup>#</sup>	PP	15.53	10.71	0.021	0.150	0.68	0.47	0.61	4.26	655	13.92	76.4	24.7	23	4.6	FA	Ar	F	<
	4 <sup>#</sup>	SAF	16.55	10.09	0.022	0.146	0.92	0.56	0.60	3.93	485	10.76	71.2	28.2	18	5.9	MA	FrL	M	<
	5 <sup>#</sup>	PP	23.76	11.58	0.048	0.380	1.58	0.77	1.43	11.39	449	21.50	158.0	24.8	15	4.8	FA	Fr	MG	>

<< Continuación >>

<i>G. crinita</i>	1	PP	24.75	12.61	0.049	0.408	2.25	1.15	1.44	12.04	325	15.87	59.2	20.9	11	4.8	FA	FrAr	MF	<
	2	PP	23.87	10.01	0.046	0.323	2.17	0.91	1.56	11.00	375	17.20	52.3	21.3	11	4.6	FA	FrAr	MF	<
	3	PP	30.51	14.87	0.074	0.723	2.77	1.35	1.52	14.78	225	16.73	58.5	23.3	11	5.3	MA	FrAr	MF	>
	4	SAF	18.93	13.11	0.029	0.254	2.37	1.64	1.90	16.67	525	15.23	45.7	18.6	8	6.4	LA	FrAr	MF	<
<i>P. tecunumanii</i>	1 <sup>#</sup>	SAF	20.98	8.10	0.037	0.216	1.91	0.74	1.01	5.88	300	11.11	40.1	36.3	11	7.3	LAI	Fr	MG	=
	2	SAF	31.89	9.78	0.081	0.508	2.90	0.89	2.24	14.07	305	24.62	82.0	21.9	11	5.3	MA	Fr	MG	=
	3 <sup>#</sup>	SAF	30.40	6.35	0.105	0.897	2.76	0.58	0.53	4.49	55	5.79	14.5	75.4	11	7.3	LAI	Fr	MG	=
	4	PP	39.99	18.66	0.133	1.769	1.33	0.62	2.88	38.33	650	86.27	112.0	11.4	30	6.4	LA	Fr	MG	=
	5	PP	32.63	12.85	0.087	0.782	1.63	0.64	2.39	21.51	550	47.88	78.3	18.6	20	6.7	LA	FrA	MG	=
<i>R. rospigliosii</i>	1	FE	20.62	9.62	0.036	0.239	0.59	0.27	0.12	0.82	120	4.37	17.7	49.9	35	4.0	FA	Fr	MG	<
	2	SAF	41.02	13.46	0.135	1.186	1.17	0.38	0.28	2.47	73	9.84	31.4	54.9	35	4.7	FA	Fr	MG	<
	3	SAF	24.72	8.99	0.051	0.301	0.71	0.26	0.17	1.01	117	5.97	26.5	51.9	35	4.7	FA	FrA	MG	<
	4	PP	29.48	9.24	0.070	0.450	1.34	0.42	1.28	8.17	400	28.2	116.5	26.4	22	6.5	LA	FrArA	M	=
<i>R. amazonicum</i>	1	SAF	28.73	10.88	0.068	0.481	4.10	1.55	2.42	17.19	250	16.97	100.6	26.2	7	4.2	FA	FrArA	M	=
	2	SAF	41.38	12.43	0.141	1.154	5.91	1.78	1.05	8.55	52	7.32	45.5	49.9	7	6.1	LA	FrAr	MF	=
	3	SAF	26.30	10.93	0.056	0.402	3.76	1.56	2.62	18.67	325	18.35	81.0	22.0	7	5.3	MA	FrAr	MF	=
	4 <sup>#</sup>	SAF	33.37	8.84	0.089	0.513	3.03	0.80	2.43	13.99	300	26.7	188.1	25.3	11	5.6	MA	Ar	F	=
<i>S. amara</i>	1	PM	18.13	8.85	0.027	0.150	2.01	0.98	1.41	7.91	475	12.67	30.5	27.7	9	6.9	LA	FrA	MG	>
	2	PM	17.93	8.71	0.026	0.145	1.99	0.97	1.21	6.83	425	10.90	41.1	31.7	9	6.6	LA	FrA	MG	>

<< Continuación >>

3	PM	19.90	7.07	0.035	0.162	2.21	0.79	1.65	7.63	425	14.81	78.4	33.1	9	6.8	LA	FrA	MG	>
4	PP	19.38	8.14	0.030	0.162	1.76	0.74	2.05	11.03	750	22.53	49.6	17.6	11	4.0	FA	Fr	MG	>
5	PM	19.24	6.58	0.030	0.130	1.75	0.60	1.38	5.90	500	15.23	112.4	26.3	11	6.8	LA	FrA	MG	>

Notas:

# Los datos de pH y textura del suelo se obtuvieron de la Base de Datos Armonizada de los Suelos del Mundo Versión 1.2 (FAO *et al.* 2009).

(\*) Clasificación del pH basada en la propuesta de Scheffer y Schachtschabe (Conti 2007).

MA: Medianamente ácido; LA: Ligeramente ácido; EA: Extremadamente ácido; FA: Fuertemente ácido; LAI: Ligeramente alcalino.

Clase Textural

Ar: Arcilloso; AFr: Arena Franca; Fr: Franco; FrArA: Franco Arcillo Arenoso; FrAr: Franco Arcilloso; FrA: Franco Arenoso; Fr: Franco Limoso

(\*\*) Clasificación de la textura basada en la propuesta de Conti (2007).

M: Media; F: Fina; MG: Moderadamente Gruesa; G: Gruesa; MF: Moderadamente Fina.

Calificación: < Menor; = Similar; > Mayor

## V. CONCLUSIONES

- Las plantaciones de las especies forestales estudiadas presentaron comportamientos silviculturales diferentes. La variación de su comportamiento estuvo relacionada a la edad de plantación, el tipo de plantación, el pH y la textura del suelo.
- Las especies que presentaron los mayores dap promedio fueron *Cedrelinga cateniformis*, *Schizolobium amazonicum* y *Pinus tecunumanii*. Las especies que presentaron los menores dap promedio fueron *Simarouba amara* y *Dipteryx ferrea*.
- La poda natural intervino en la conformación de la altura comercial en árboles de *Calycophyllum spruceanum*.
- Las especies que presentaron mayores áreas basales y volúmenes comerciales fueron *Cedrelinga cateniformis*, *Pinus tecunumanii* y *Schizolobium amazonicum*. Las especies que presentaron la menores áreas basales y volúmenes comerciales fueron *Simarouba amara*, *Dipteryx ferrea* y *Calycophyllum spruceanum*.
- Las especies que presentaron los mayores valores IMA dap fueron *Schizolobium amazonicum* y *Guazuma crinita*. Las especies que presentaron los menores valores IMA dap fueron *Retrophyllum rospigliosii* y *Dipteryx ferrea*.
- La densidad de plantación influyó en el IMA G e IMA Vc. De esta manera, plantaciones con mayor densidad obtuvieron mayores valores de IMA G e IMA Vc.
- Las plantaciones puras presentaron indicadores de espesura de masa forestal que calificaron de normal a excesiva. En cambio, las plantaciones instaladas en sistemas agroforestales presentaron espesuras de defectivas a normales.

- En la mayoría de las plantaciones estudiadas la edad de la plantación influyó en los indicadores de crecimiento y productividad de las especies estudiadas. En el caso del crecimiento, a mayor edad de plantación los valores de los indicadores de crecimiento fueron mayores. En el caso de la productividad, a mayor edad de plantación los valores de los indicadores de productividad fueron menores.
- *Cedrelinga cateniformis*, *Dipteryx ferrea* y *Schizolobium amazonicum* pueden desarrollarse una gran variedad de condiciones de pH y textura del suelo. *Guazuma crinita* y *Pinus tecunumanii* presentaron mayor crecimiento y productividad en suelos de menor acidez. *Retrophyllum rospigliosii* presentó mayor crecimiento y productividad en suelos de textura media. *Simarouba amara* presentó mayor crecimiento y productividad en suelos de textura gruesa.

## VI. RECOMENDACIONES

- Instalar parcelas permanentes de monitoreo dentro de las plantaciones. De esta manera se pueden obtener datos de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal en el tiempo.
- Generar indicadores de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal por tipo de plantación.
- Realizar estudios de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal de mediano y largo plazo porque la mayoría de estudios abordan los primeros años de desarrollo de la plantación.
- Registrar las actividades silviculturales desarrolladas dentro de una plantación ya que el conocimiento de las mismas permitiría comprender los resultados de crecimiento obtenidos.
- Estudiar la relación entre los indicadores de crecimiento, productividad, espesura de masa forestal y los tratamientos silviculturales aplicados en una plantación.
- Estudiar la relación entre la proyección de copa, la Fracción de Cobertura y el patrón arquitectural de las especies forestales dentro de una plantación.
- Establecer categorías de clasificación de área basal, Fracción de Cobertura e Índice de Hart-Becking para especies peruanas.
- Incluir dentro de la evaluación de alturas tanto la altura total como la altura comercial.
- Establecer el factor de forma para cada especie forestal. Ello permitiría obtener valores de volumen comercial más precisos.
- Complementar las evaluaciones de volumen comercial con pruebas con el tomógrafo forestal. Ello permitiría conocer el nivel de pudrición medular de los árboles en la plantación y determinar con mayor precisión el volumen comercial.



- Incluir dentro de los estudios de crecimiento y productividad la evaluación de calidad de fuste. De esta manera, además de los componentes cuantitativos, se incorpora la evaluación de la calidad de la madera obtenida.
- Evaluar la relación entre poda natural, densidad de la plantación y altura comercial.
- Publicar los datos de crecimiento, productividad y espesura de masa forestal de manera conjunta e indicando también las intervenciones silviculturales realizadas.
- Gestionar la creación de un sistema de información que reúna los datos de la evaluación de plantaciones forestales en Perú. Dicho sistema debería ser administrado por la autoridad forestal y de libre acceso. Esta información sería de mucha utilidad para el desarrollo del sector plantaciones forestales.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A; Raigosa, J. 2007. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. Centro de Investigaciones Agronómicas – Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 404 p.
- Amaral, P. Verissimo, A; Barreto, P; Vidal, E. 1998. Bosques para siempre: Un manual para la producción de madera en la Amazonía. IMAZON. Belém, Brasil. 162 p.
- Amasifuen, W. 2017. Determinación del estado actual de la plantación mixta de *Simarouba amara* “Marupa” y *Couma macrocarpa* “Leche Caspi” en el CIEFOR – Puerto Almendra. Loreto/Perú. 2015. Tesis Ing. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú. 84 p.
- Angulo, W. 2014. Crecimiento y Productividad de la plantación de *Cedrelinga cateniformis* Ducke, establecida en diferentes condiciones de sitio, en suelo Inceptisol en el Bosque Alexander von Humboldt. Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario - Instituto Nacional de Innovación Agraria. Pucallpa, Perú. 28 p.
- Angulo, W; Fabasi, H; Ruíz, G. 2016. Crecimiento y productividad de plantación de tornillo *Cedrelinga cateniformis* Ducke, establecida en la Amazonía peruana. Artículo. Congreso Nacional Forestal CONAFOR (12, Lima, Perú). Lima, Perú. 7 p.
- Ascencio, A. 2018. Influencia de los sistemas agroforestales sobre el volumen de madera en pie de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Mart) – Leoncio Prado – Huánuco. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 78 p.
- Barbosa, L; De Oliveira, V; Nagaishi, K; Da Silva, F; Oliveira, K; Braga, M; Da Silva, A; Dos Santos, M. 2021. O marupá *Simarouba amara* Aubl. Primera Edición. Brazilian Journals Editora. São José dos Pinhais. 64 p.

- Barturén, L. 2018. Sobrevivencia de *Cordia alliodora*, *Pinus tecunumanii*, *Eucalyptus saligna*, *Cedrela odorata* del proyecto “Microcuenca San Miguel de las Naranjas” – Jaén. Tesis Ing. Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú. 85 p.
- Basantes, E. 2016. Silvicultura y fisiología vegetal aplicada. Primera edición. Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador. 439 p.
- Batista, J; Chaves, M; Benigno, J; Da Silva, J; Bezerra, S; Vasconcelos, A. 2020. Caracterizações anatômicas e físicas da madeira de pau-mulato (*Calycophyllum spruceanum*) (en línea). Revista Scientia Forestalis 48 (126). Consultado 17 ene. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.02>
- Becerra, A. 2016. Estudio técnico-económico de un sistema agroforestal mejorado de cacao (*Theobroma cacao*) y bolaina (*Guazuma crinita*) en Tingo María. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 149 p.
- Beer, J; Lucas, C; Kapp, G. 1995. Reforestación con maderables: sistemas agrosilviculturales vs. plantaciones puras en Talamanca, Costa Rica. Resultados agrícolas y forestales (en línea). Proyecto Agroforestal CATIE / GTZ. Serie Técnica. Informe Técnico / CATIE; número 243. Turrialba, Costa Rica. Consultado 01 feb. 2022. Disponible en <https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/3766>.
- Benavides, D; Castillo, L; Rueda, D. 2018. Introducción a bases de datos para inventarios forestales en Field-Map Project Manager (en línea). Boletín Semillas 1(12):1991-199. Ambientales. Bogotá, Colombia. Consultado 10 feb.2021. Disponible en <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/13633/13977/>
- Blaser, J; Claussi, A; Díaz, M. 1985. Crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* en plantación. Nota de investigación. Centro de Investigación y Desarrollo Jenaro Herrera. 3 p.
- Cabrera, C. 2003. Plantaciones forestales: oportunidades para el desarrollo sostenible. Serie de documentos técnicos N° 6. Universidad Rafael Landívar – Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente - Programa de Fortalecimiento Institucional en Políticas Ambientales (FIPA-USAID). Guatemala.
- Camacho, A; Villalobos, A. 1995. Reforestación con maderables: sistemas agrosilviculturales vs plantaciones puras en Talamanca, Costa Rica. Resultados Agrícolas y Forestales. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. 65 p.

- Campos, E; Rodrigues, P. 2015. Guia de árvores com valor económico. Iniciativa INPUT. Agroicone. São Paulo. 135 p.
- Caneiro, M; Costa, B; Pedroso, B; Miranda, D; Lira, A. 2021. *Calycophyllum spruceanum* Benth. K. Schum. (Rubiaceae). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 27 p.
- Cárdenas, L. 2016. Aspectos ecológicos y silviculturales para el manejo de especies forestales nativas. Revisión de información disponible para Colombia. Fundación Natura. Bogotá D.C. Colombia. 167 p.
- Castro, I; Contente, P; Alves, O; Alves, O; Gazel, A. 2015. Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará – PA (Brasil). Revista Ciência Florestal 25(3):679-687
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 2020. *Pinus tecunumanii* (red pine) (en línea). Turrialba, Costa Rica. Consultado 05 abril 2022. Disponible en <http://bsf.catie.ac.cr/listing/pino-rojo-pinus-tecunumanii-2217979225.html?lang=en>
- Chumbimune, Y. 2017. Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) de una plantación de 32 años asociada con café en Villa Rica, Perú. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 83 p.
- Claussi, A; Marmillod, D; Blaser, J. 1992. Descripción silvicultural de las plantaciones forestales de Jenaro Herrera. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera. Iquitos, Perú. 327 p.
- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León. 2010. Instrucciones Técnicas de Normalización de la Planificación Forestal en Castilla y León. Versión 1.7 (en línea). Proyecto NORMAFOR. Castilla, España. Consultado 05 marz. 2021. Disponible en [ZGVmYXVsdGRvbWFpbmVzaWx2aWN1bHR1cmFmb3Jlc3RhbHxneDo3MDJhNzYxOTcyNmYxOGVk](https://www.cma.es/portal/contenidos/normalizacion-planificacion-forestal-castilla-leon)
- Conti, M. 2007. Principios de edafología con énfasis en los suelos argentinos. Segunda Edición. Editorial de la Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. 446 p.

- Costas, R; Mac Donagh, P; Weber, E; Irschick, P; Palavecino, J. 2001. *Pinus taeda* L. densidad de plantación y rendimiento. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 33(2):11-19
- Cuellar, J; Reyes, P. 2016 ¿Es la capirona *Calycophyllum spruceanum* una opción rentable para la promoción de plantaciones forestales en la Amazonía? (en línea). In XII Congreso Nacional Forestal (Lima, Perú). Consultado 17 ene. 2022. Disponible en <http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/364/1/Cuellar-capirona.pdf>
- Cuellar, J; Salazar, E. 2016. Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. Lima, Perú. 217 p.
- Cueva, M; Vélez, D; Barrios, T; Nieto, R. 2013. Pino romerón (*Retrophyllum rospigliossi* (Pilger) C.N. Page), especie nativa potencial para la reforestación en zonas altoandinas de Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) – Colegio Integrado Nacional Oriente de Caldas. Bogotá D.C., Colombia. 2010. 47 p.
- Da Silva, A. 2016. Diversidade genética de *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barbeny, en área de plantio no Espírito Santo. Tesis Mg. Sc. Universidad Federal de Espírito Santo, Alegre, Estado de Espírito Santo, Brasil. 75 p.
- Dávila, 2020. Dendrocronología de la especie *Guazuma crinita* Mart. en bosque natural y plantación forestal de la Provincia Tambopata – Madre de Dios. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Madre de Dios. 69 p.
- De Sousa, C; Rossi, L; De Azevedo, C; Vieira, A. 2003. Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. EMBRAPA. Circular Técnica 18. Manaus, estado de Amazonas, Brasil.
- De Souza, F. 2015. Seleção de espécies e procedências de *Pinus* sp para a região de Assis, estado de São Paulo. Tesis Ing. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil. 38 p.
- Delgado, C; Couturier, G. 2008. *Atteva punctella* Cramer (Lepidoptera: Yponomeutidae), plaga de *Simarouba amara* Aubl. (Simaroubaceae), en Perú. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa 43:519-521
- Delgado, F. 2019. Efecto del raleo en plantaciones de bolaina (*Guazuma crinita* Mart), Puerto Inca, Huánuco. Tesis Ing. Universidad Nacional de Cajamarca, Jaén, Perú. 234 p.

- Diéguez, U; Barrio, M; Castedo, F; Ruíz, A; Álvarez, M; Álvarez, J; Rojo, A. 2003. Dendrometría. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 327 p.
- Dos Santos, P; De Oliveira, S; Da Silva, A; De Melo, A; Pina, F. 2003. Crescimento e qualidade de fuste de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) em diferentes consórcios região amazônica. *In: Congreso Brasileiro Forestal*, 6, 2003, São Paulo. Anais: São Paulo: SBS, 2003, 142 p.
- Dvorak, W; Hodge, G; Romero, J. 2001. Resultados de veinte años de investigación sobre el *Pinus tecunumanii* por la Cooperativa de CAMCORE. Recursos Genéticos Forestales N° 29. Roma, Italia.
- Ehrenbergerová, L; Šeptunová, Z; Habrová, H; Puerta, R; Matula, R. 2019. Shade tree timber as a source of income diversification in agroforestry coffee plantations, Peru. *Bois et Forêts des Tropiques* 342: 93-103.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis, Austria); ISRIC (World Soil Information; Países Bajos); ISS-CAS (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, China); JRC (Joint Research Centre of the European Commission, Bélgica). 2009. Base de Datos Armonizada de los Suelos del Mundo Versión 1.2 (en línea). Roma, Italia, FAO. Consultado 24 may. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/mapas-historicos-de-suelos-y-bases-de-datos/base-de-datos-armonizada-de-los-suelos-del-mundo-v12/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2002. Evaluación de los recursos forestales del mundo 2000, Informe principal. Estudio FAO Montes 140. Roma, Italia. 468 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. Informe Principal (en línea). Consultado 07 may. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/documents/card/es/c/ca9825es>
- Ferreira, A; Melo, R. 2006. Inventário florestal quantitativo de plantios de teca (*Tectona grandis* L.F) e pino-cuiabano (*Schizolobium amazonicum* Hub.). *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal* 4(7)

- Fetzer, T. 2014. Efecto de densidades de siembra sobre el crecimiento de dos especies de pino en San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Tesis Ing. Universidad Rafael Landívar, Alta Verapaz, Guatemala. 87 p.
- Flores, Y. 2005. Capirona (Tríptico). Convenio ADRA Perú – INIEA. Estación Experimental Agraria Pucallpa. Pucallpa, Perú
- Flores, Y. 2006. Ficha Técnica N° 6 Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). In Wightman, K; Cornelius, J; Ugarte, J. Plantemos madera: Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana. p.139-141
- Flores, Y. 2010. Crecimiento y productividad de plantaciones forestales en la Amazonía peruana. Corporación Gráfica Andina. 60 p.
- Flores, Y. 2019. Ecología, silvicultura y productividad de *Dypterix ferrea* (Ducke) Ducke. Primera Edición. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Proyecto 146\_PI. Lima, Perú. 35 p.
- Flores, Y. 2019. Fichas técnicas para plantaciones con especies nativas en zona de selva baja. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú. 52 p.
- Flores, Y. 2019. Potencial de las plantaciones de *Dipteryx* sp. como alternativa para la restauración de áreas degradadas en la Amazonía peruana. II Simposio Nacional de Restauración de Ecosistemas Forestales amazónicos, andinos y costeros (11, 2019, Lima, Perú)
- Flores, Y; Ugalde; L; Galloway, G; Carrera, F. 2004. Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el bosque Alexander Von Humboldt, Amazonía peruana. Revista Naturaleza y Ambiente. 111-121
- Freitas, L; Zárate, R; Del Castillo, D; Dávila, A; Villacorta, C; Benavides, J. 2021. Silvicultura de un rodal de regeneración natural de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Kook. ex K. Shum (Rubiaceae) en la llanura aluvial inundable de Iquitos, Amazonía peruana (en línea). Revista Folia Amazónica 30(1): 71-86. Consultado 21 ene. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.24841/fa.v30i1.545>

- Furtado, N. 2013. Manejo da regeneração natural e produção de madeira de pau mulato em floresta de várzea do estuário amazônico. Tesis Mg. Sc. Universidad Federal do Amapá, Macapá, Brasil. 95 p.
- García, A. 2009. Estudio del comportamiento de enfermedades en bosques de pino (*Pinus oocarpa* Shiede ex Schltdl), en el municipio de San Fernando en Nueva Segovia. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 85 p.
- García, D. 2010. Estimación de variables de interés forestal basada en datos LIDAR en el monte número 117 del C.U.P Término Municipal de Cuenca (en línea). Universidad Politécnica de Madrid. 193 p. Consultado 11 feb. 2021. Disponible en [http://oa.upm.es/6171/2/PFC\\_DAVID\\_GARCIA\\_GARCIA\\_TEXTO.pdf](http://oa.upm.es/6171/2/PFC_DAVID_GARCIA_GARCIA_TEXTO.pdf)
- González, M. 2011. Silvicultura. Conceptos y aplicaciones (en línea). Facultad de Ciencia Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Consultado 05 marz. 2021. Disponible en <https://mgtagle.files.wordpress.com/2013/09/006-silvicultura.pdf>
- Gorbitz, G; Ríos, L; Marujo, C; Cornejo, V; Medina, R; Sáenz, L. 2020. Estimación de la ganancia genética espera de *Pinus tecunumanii* en plantaciones forestales en Oxapampa, Perú. Revista Forestal del Perú 35(3): 56 – 64
- Guariguata, M; Arce, J; Ammour, T; Capella J. 2017. Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro (en línea). Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia: CIFOR. Consultado 07 may. 2021. Disponible en [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/OccPapers/OP-169.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-169.pdf)
- Guerra, W; Soudre, M; Chota, M. 2008. Tabla de volumen comercial de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) de las plantaciones experimentales de Alexander von Humboldt, Ucayali, Perú. Folia Amazónica 17(1-2): 47-58
- Hoffman, R; Da Silva, G; Franklim, J; Rerreira, R; Vescovi, L; Zaneti, L. 2011. Caracterização dendrométrica de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 6(4):675-684
- IFER (Instituto de Investigación de Ecosistemas Forestales, República Checa). 2010. Field-Map, tecnología diseñada para la colección y procesamiento de datos de campo (en línea, web). Consultado 10 feb. 2121. Disponible en [https://www.fieldmap.cz/download/FM\\_leaflet\\_2010\\_es.pdf](https://www.fieldmap.cz/download/FM_leaflet_2010_es.pdf)



- IFER (Instituto de Investigación de Ecosistemas Forestales, República Checa). 2012. Field-Map, Catálogo. República Checa. 59 p.
- IFER (Instituto de Investigación de Ecosistemas Forestales, República Checa). 2012. Where Field-Map has been used (en línea, web). Consultado 09 agos. 2021. Disponible en <https://www.fieldmap.cz/?page=users>
- IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Costa Rica). 1976. Evaluación de plantaciones forestales en el Perú. Serie de informes de conferencias, cursos y reuniones N° 100.IICA. Lima, Perú. 319 p.
- Imaña, J; Encinas, O. 2008. Epidometría forestal. Brasilia: Universidade de Brasilia, Departamento de Engenharia Floretal; Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 68 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). 1999. Manual Técnico Forestal. Editorial Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 110 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). 2017. Caoba *Swietenia macrophylla*; paquete tecnológico forestal. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 53 p.
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria, Perú). 2019. Ecología, silvicultura y productividad de *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke. Proyecto 146\_PI “Cerrando brechas de información taxonómica, silvicultural y tecnológica para contribuir a la producción comercial de shihuahuaco (*Dipteryx* sp.) en plantaciones en la Amazonía peruana”. 35 p.
- ITTO (Organización Internacional de Maderas Tropicales, Japón). 1993. Reforestación, manejo y aprovechamiento sustentable de los bosques naturales de neblina en Jaén - San Ignacio. PD 42/92 Rev. 1 (F).
- ITTO (Organización Internacional de Madera Tropicales, Japón). 2017. Cedrorana, Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) (en línea, web). Consultado 14 jul. 2021. Disponible en <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/cedrorana-cedrelinga-cateniformis/>
- Jordán, A. 2006. Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 143 p.
- Kass, D. 1996. Fertilidad de suelos. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia. San José de Costa Rica. 233 p.

- Kew.2019. *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke (en línea, sitio web). Consultado 19 jul. 2021. Disponible en <http://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:492764-1>
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incrementos de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 279 p.
- Lago, M. 2019. Ecuaciones alométricas de especies dominantes usando sistema integrado Field Map en la parcela permanente del monitoreo N° 4 del Bosque Reservado UNAS Tingo María. Tesis Ing. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 79 p.
- Laura, A. 2018. Evaluación dasométrica de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en la provincia de Puerto Inca, Huánuco. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 98 p.
- Leguía, E; Soudre, M; Rugnitz, M. 2010. Predicción y evaluación del impacto del cambio climático sobre los sistemas agroforestales en la Amazonía peruana y andina ecuatoriana. Informe Final del Proyecto (en línea). Pucallpa, Perú. Consultado 23 mar. 2022. Disponible en [https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/217/1/Leguia\\_documentotecnico\\_2010.pdf](https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/217/1/Leguia_documentotecnico_2010.pdf)
- Loera, J; Sepúlveda, D. 2015. Parámetros de la productividad forestal en la producción de madera en rollo (en línea). ECORFAN Ciencias Sociales: Economía y Humanidades. Handbook T-I. Volumen I. Pérez, F; Figueroa, E; Godínez, L (edit.). Consultado 24 feb. 2021. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5365665>
- Longwood, F. 1962. Present and Potential commercial timbers of The Caribbean. Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. 168 p.
- López, R. 1981. Estudio silvicultural del tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke). Revista Forestal del Perú 10(1-2):1-7
- Magariños, E; Villegas, T. 2006. Ficha Técnica N° 5 Pashaco o pino chuncho (*Schizolobium amazonicum*). In Wightman, K; Cornelius, J; Ugarte, J. Plantemos madera: Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana. p.135-137
- Melo, E; Ferreira, J. 2000. Desempenho de doce espécies arbóreas nativas e introduzidas com potencial de uso múltiplo no Estado do Acre, Brasil. Revista Acta Amazonica 30(3): 471-480.

- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Perú). 2015. Ley Forestal y de Fauna Silvestre LEY N° 29763. Artículo 11. Diario Oficial El Peruano. Perú. 22 de jul. 2011.
- Mojena, P. 2017. Índices de densidade para povoamento de Simarouba amara Aubl. Revista Scientific Electronic Archives 10(6): 10 - 19
- Montoya, L. 2017. Balance entre biomasa y carbono en plantación de *Pinus tecunumanii* Eguluz & Perry (pino) y *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kunttze (Araucaria) en la Estación Experimental La Favorita, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Tesis Ing. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Novillo, C. 2012. Aplicaciones de interés forestal de las imágenes obtenidas con el sensor Multi-angle Imaging Spectro Radiometer (MISR) (en línea). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 115 p. Consultado 05 marz. 2021. Disponible en [http://oa.upm.es/14883/1/CARLOS\\_JOSE\\_NOVILLO\\_CAMACHO.pdf](http://oa.upm.es/14883/1/CARLOS_JOSE_NOVILLO_CAMACHO.pdf)
- Odocio, J. 2017. Relación de las propiedades físicas y genéticas de la madera de *Guazuma crinita* (bolaina blanca) del rodal semillero del INIA-Pucallpa, proveniente de dos unidades fisiográficas. Tesis Ing. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Yarinacocha, Perú.
- ONF (Oficina Nacional Forestal, Costa Rica). 2013. Guía Técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables (en línea). Heredia, Costa Rica. Consultado 22 jun. 2021. 30 p. Disponible en [https://www.biopasos.com/biblioteca/guia\\_sistemas\\_agroforestales.pdf](https://www.biopasos.com/biblioteca/guia_sistemas_agroforestales.pdf)
- Oshiro, M. 2016. Ficha Estándar de familia del Catálogo de Bienes, Servicios y obras del MEF. Ficha Estándar N° 85 Familia 20720009 Madera Capirona. Oficina General de Tecnologías de la Información del Ministerio de Economía y Finanzas. Lima, Perú. 5 p.
- OSINFOR (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna silvestre, Perú). 2017. Fichas de identificación de especies forestales maderables y silvicultura tropical. Taller Fortalecimiento de las capacidades en la identificación de Especies Forestales maderables y Silvicultura Tropical. MLB Impresiones. Lima, Perú. 48 p.
- OSINFOR (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna, Perú). 2021. Estudio Ecológico de la Estructura Vertical de las principales especies forestales maderables en la Amazonía Peruana (en línea). Consultado 18 ene. 2022. Disponible en <https://www.gob.pe/institucion/osinfor/informes-publicaciones/2059520-estudio->

ecologico -de-la-estructura-vertical-de-las-principales-especies-forestales-maderables-en-la-amazonia-peruana

- Paima, E. 2012. Sobrevivencia y crecimiento de “bolaina blanca” *Guazuma crinita* en plantaciones de tres diferentes edades a campo abierto en Itahuania, Madre de Dios. Tesis Ing. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú. 134 p.
- Palomino, J; Barra, M. 2003. Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad (en línea). Programa Selva Central Oxapampa. 99 p. Consultado 08 feb. 2022. Disponible en <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/70.pdf>
- Pandey, D; Ball, J. 1999. Importancia de las plantaciones forestales industriales para el suministro de fibra en el futuro (en línea). Revista Unasyuva 193(49). Consultado 03 feb. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/w7990s07.htm#importancia%20de%20las%20plantaciones%20industriales%20para%20el%20suministro%20mundial%20de%20fibra>
- Paredes, F. 2003. Estimación de la calidad de sitio de las especies *Simarouba amara* Aubl. “Marupá” y *Guatteria elata* R.E. Fries. “Carahuasca” en plantaciones del Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera (CIJH), Loreto – Perú. Tesis Ing. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú. 87 p.
- Párraga, G. 2019. Evaluación dasométrica y productividad de *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke, en tres sistemas de plantación, en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt, Pucallpa, Ucayali, Perú. Tesis Ing. Iquitos, Perú, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 66 p.
- Pinelo, G. 2004. Manual de inventario forestal integrado para unidades de manejo (en línea). Programa Ambiental Regional para Centroamérica. Serie Técnica #4. WWF Centroamérica. 49 p. Consultado 02 feb. 2021. Disponible en <http://awsassets.panda.org/downloads/manualinventario.pdf>
- Portillo, P; Cueva, N; Sierra, J; Vásquez, Á. 2019. Propiedades físico mecánicas del *Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C. N Page de 22 años en dos sistemas de plantación en Colombia. Revista Forestal del Perú 34(1): 41 - 51

- Postigo, N. 2018. Determinación del turno de rotación económicamente óptimo para el caso de la bolaina blanca ("*Guazuma crinita*") en la región Cusco – Perú. Tesis Eco. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 43 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura Forestal. GTZ – IICA. San José, Costa Rica. Imprenta del IICA. 586 p.
- PROECEN (Proyecto Estudio de Crecimiento de Especies Nativas de Interés Comercial en Honduras, Honduras). 2002. Importancia de la poda en el manejo de plantaciones forestales (en línea). Comayagua, Honduras. 28 p.
- Quintero; J. 1995. Análisis silvicultural y ecológico del método de plantación enriquecimiento en fajas, establecido en los llanos occidentales de Venezuela. Revista de Ciencia e Investigación Forestal del Instituto Forestal de Chile 9(2): 279 - 289
- Ramallo, P. 2007. Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum*. EMBRAPA. Circular Técnica 142. Colombo, estado de Paraná, Brasil.
- Ramírez, J; Marín, A; Urrego, J; Castaño, A; Ospina, R. 2021. Efecto de la fertilización en el crecimiento de *Retrophyllum rospigliosii* de la zona andina de Colombia. Revista Madera y Bosques 27(3): 1-12
- Ramírez, L. 2017. Incremento medio anual de teca (*Tectona grandis* L.f.) en plantaciones comerciales, distrito de Puerto Inca, Huánuco – Perú. Tesis Ing. Jaén, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 92 p.
- Reforestadora Amazónica. 2014. Sector de Plantaciones Forestales (en línea). In Foro Sector Forestal (abril, 2014). Banco Central de Reserva del Perú. Consultado 07 may. 2021. Disponible en <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Seminarios/2014/forestal/forestal-2014-koechlin.pdf>
- Reynel, C; Marcelo, J. 2009. Árboles de los ecosistemas forestales andinos, Manual de identificación de especies. Primera Edición. Serie Investigación y Sistematización N° 9. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION. Lima, Perú. 159 p.
- Reynel, C; Pennington, R; Pennington, T; Flores, C; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonia Peruana y sus usos. Lima, Perú. Tarea Gráfica Educativa. 509 p.
- Rojas, J. 2015. Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano. Tesis Mg. Sc. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 76 p.

- Rolim, S; Piotto, D. 2018. Silvicultura e tecnología de espécies da Mata Atlántica. Editora Rona. Belo Horizonte. 160 p.
- Salazar, R. 1989. Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. Turrialba, Costa Rica. 130 p.
- Salazar, R; Soihet, C; Méndez, J. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Volumen 1. Turrialba, Costa Rica. 204p.
- Saldaña, P. 2010. Estimación de biomasa de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (tornillo) y *Simarouba amara* Aublet (marupa) en plantaciones forestales del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera. Tesis Ing. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú. 47 p.
- Samaniego, C. 2013. Efecto de un incendio forestal en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill. Subsp. Globulus en Huaraz (en Línea). Tesis para optar el título de Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 113 p. Consultado 23 jun. 2021. Disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1762/K70-S187-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SECF (Sociedad Española de Ciencias Forestales, España). 2005. Diccionario Forestal de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. Primera Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. 1336 p.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú). 2019. ¿Cómo se realiza el despacho, transporte y comercialización de madera? Guía N° 4. Primera Edición. Lima, Perú. 45 p.
- Silva, H. 2011. Densidad de siembra adecuada para el crecimiento de la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) “tornillo” en parcelas demostrativas a campo abierto, CIEFOR, Puerto Almendra. Tesis Ing. Iquitos, Perú, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 64 p.
- Suatunce, P; Díaz, G; García, L. 2009. Efecto de la densidad de plantación en el crecimiento de cuatro especies forestales tropicales. Revista Ciencia y Tecnología 3(1):23-26
- Toledo, M. 2016. Manual de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA. Honduras. 152 p.

- Tonini, H; Moreira, L; De Souza, D. 2005. O Paricá (*Schizolobium amazonicum*): Crescimento, Potencialidade e Usos. EMBRAPA Roraima. Documentos, 4. Boa Vista, estado de Roraima, Brasil. 27 p.
- Torres, L; Melo, R; Colodette, J. 2005. Pulpa kraft blanqueada a partir de *Pinus tecunumanii*. Revista Bosque 26(2): 115 - 122
- Trianoski, R. 2009. Caracterização tecnológica de espécies de *Pinus* tropicais provenientes de plantios experimentais no Brasil. Tesis Ing. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. 117 p.
- Trianoski, R. 2012. Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos. Tesis Doctoral. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. 547 p.
- UEIA (Universidad EIA, Colombia). 2020. Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá (en línea, web). Consultado 21 jul. 2021. Disponible en <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/307>
- Ugalde, L. 2000. El sistema MIRA, Componente de Silvicultura. Manual del usuario. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 82 p.
- Ugalde, L; Gómez, M. 2006. Perspectivas económicas y ambientales de las plantaciones de teca bajo manejo sostenible, en Panamá. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. USAID. 76 p.
- Ugarte, J; Román, F. 2020. Tasas de crecimiento de cuatro especies nativas en plantaciones forestales comerciales en cuatro regiones de la Amazonía peruana. Revista Forestal del Perú 32 (3): 44-55
- Ugarte, L; Domínguez, G. 2010. Índice de Sitio (IS) de *Calycophyllum spruceanum* Benth. En relación con la altura dominante del rodal de ensayo de plantación en la cuenca del Aguaytía, Ucayali, Perú. Revista Ecología Aplicada 9(2): 101 - 111
- Urbina, 2017. Propiedades mecánicas de la madera de raleo procedente de plantaciones de cuatro años de Guazuma crinita (bolaina blanca) – Huánuco. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 74 p.
- Ushiñahua, D. 2016. Comportamiento fenológico preliminar de capirona en la provincia de San Martín, Región San Martín. Hoja Divulgativa N° 002-2016. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. 2 p.

- Valdez, D. 2005. Comportamiento de la viabilidad de las semillas de cuatro especies forestales, almacenadas a 5 °C en el banco de semillas forestales del Instituto Nacional de Bosques – BANSEFOR –Guatemala. Tesis Ing. Ciudad de Guatemala, Guatemala, Universidad Sn Carlos de Guatemala. 73p.
- Valdivia, J. 2020. Índices de vegetación para la estimación de biomasa arbórea en sistemas agrosilvícolas de fincas en Zihuateutla, Puebla, México. Tesis Ing. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 70 p.
- Vargas, Y; Palomino, F; Ramos, M; López, J. 2015. Silvicultura de la especie forestal Marupa (*Simarouba amara* Aublet). Reforestadora Latinoamericana S.A. – REFOLASA. Experiencias Forestales y Agroforestales, Boletín Técnico N° 2. Tingo María, Perú. 21 p.
- Vásquez, W. 2014. Producción de oxígeno en plantaciones de *Simarouba amara* (Aublet) “marupa” y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) “tornillo” en cinco diferentes edades en Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis Ing. Iquitos, Perú, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 49 p.
- Vásquez, J. 2016. Morfometría y coeficiente de forma de un modelo de fuste para una plantación maciza de pino chuncho (*Schizolobium parahyba* (Vell) S.F. Blake) en el CIPTALD-Tulumayo. Tesis Ing. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Huánuco. 82 p.
- Vega, A. 2013. Evaluación de las plantaciones forestales comerciales establecidas entre 1994 y 1996 en Los Tuxtlas, Ver. (en línea). Tesis de Maestría en Manejo del Recurso Forestal. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 117 p. Consultado 23 jun. 2021. Disponible en <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/32685/vegaalarcon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wandelli, E; Araújo, D. 2013. Efeito do plantio agroflorestal adensado de espécies arbóreas na eliminação da vegetação secundária herbácea de pastagens degradadas. IX Congresso Brasileiro de Sistemas Agflorestais. Bahía, Brasil. 4 p.
- Wightman, K; Cornelius, J; Ugarte, J. 2006. ¡Plantemos madera! Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana. Manual Técnico 04. World Agroforestry Centre – Perú. Lima, Perú. 193 p.



Zúñiga, C. 2014. Uso del sistema electrónico colector de datos Field-Map en el censo de una parcela de corta anual del bosque tropical, en Loreto. Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 132 p.

## **VIII. ANEXOS**

**Anexo 1: Datos generales de las parcelas temporales instaladas en las plantaciones forestales de las especies en estudio**

Nombre científico	Nombre común	Número de parcela	Departamento	Provincia	Distrito	Superficie de la parcela (m <sup>2</sup> )	Número de árboles evaluados	Edad (año)	Tipo de plantación	Zona de vida
<i>Guazuma crinita</i>	Bolaina	1	Pasco	Oxapampa	Palcazu	400.0	13	11	Plantación pura	bmh-PT
		2	Pasco	Oxapampa	Palcazu	400.0	15	11	Plantación pura	bmh-PT
		3	Pasco	Oxapampa	Palcazu	400.0	9	11	Plantación pura	bmh-PT
		4	Ucayali	Padre Abad	Irazola	400.0	21	8	SAF	bh-T
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Pino chuncho	1	San Martín	Lamas	Zapatero	400.0	10	7	SAF	bh-PT
		2	San Martín	El Dorado	San José de Sisa	2700.0	14	7	SAF	bh-PT
		3	San Martín	Lamas	Lamas	400.0	13	7	SAF	bh-PT
		4	San Martín	Lamas	Zapatero	400.0	12	11	SAF	bh-PT
<i>Simarouba amara</i>	Marupá	1	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	400.0	19	9	Plantación mixta	bh-T
		2	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	400.0	17	9	Plantación mixta	bh-T
		3	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	400.0	17	9	Plantación mixta	bh-T
		4	Huánuco	Puerto Inca	Codo de Pozuzo	400.0	30	11	Plantación pura	bmh-PT
		5	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	400.0	20	11	Plantación mixta	bh-T
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	Ulcumano	1	Pasco	Oxapampa	Huancabamba	12800.0	154	35	Faja de enriquecimiento	bmh-MBT
		2	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	13300.0	97	35	SAF	bmh-PT
		3	Pasco	Oxapampa	Huancabamba	12700.0	149	35	SAF	bmh-MBT
		4	Junín	Chanchamayo	San Ramón	400.0	16	22	Plantación pura	bh-PT

<< Continuación >>

<i>Pinus tecunumanii</i>	Pino	1	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	2000.0	60	11	SAF	bmh-PT
		2	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	2000.0	61	11	SAF	bmh-PT
		3	Pasco	Oxapampa	Villa Rica	2000.0	11	11	SAF	bmh-PT
		4	Pasco	Oxapampa	Huancabamba	400.0	26	30	Plantación pura	bp-MBT
		5	Pasco	Oxapampa	Chontabamba	400.0	22	20	Plantación pura	bh-MBT
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Capirona	1	San Martín	San Martín	La Banda de Shilcayo	1930.0	61	19	Plantación pura	bs-T
		2	San Martín	San Martín	La Banda de Shilcayo	1904.3	68	19	Plantación pura	bs-T
		3	San Martín	San Martín	La Banda de Shilcayo	1962.5	79	19	Plantación pura	bs-T
		4	San Martín	Lamas	Rumisapa	400.0	10	11	SAF	bh-PT
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Tornillo	1	Ucayali	Padre Abad	Irazola	8684.0	16	17	Plantación pura	bh-T
		2	Loreto	Maynas	San Juan Bautista	4853.4	174	15	Plantación pura	bh-T
		3	Loreto	Alto Amazonas	Yurimaguas	2824.9	41	35	Plantación pura	bh-PT
		4	Junín	Satipo	Mazamari	400.0	17	30	SAF	bh-PT
<i>Dipteryx ferrea</i>	Shihuahuaco	1	Ucayali	Coronel Portillo	Callería	226.9	21	23	Plantación pura	bh-PT
		2	Ucayali	Coronel Portillo	Callería	470.6	30	23	Plantación pura	bh-PT
		3	Ucayali	Coronel Portillo	Callería	275.0	18	23	Plantación pura	bh-PT
		4	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	2061.0	100	18	SAF	bh-T
		5	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	600.7	27	18	Plantación pura	bh-T

## Anexo 2: Tecnología *Field - Map*

IFER (2010) señala que la tecnología *Field-Map* fue desarrollada en 1994 por el Instituto de Investigación de Ecosistemas Forestales de la República Checa.

IFER (2012) indica que, con la finalidad de realizar evaluaciones cartográficas y mediciones dasométricas, la tecnología *Field-Map* combina un *software* SIG en tiempo real con equipos electrónicos; tales como el láser *rangefinder*, la brújula electrónica, GPS, la forcípula electrónica y el inclinómetro electrónico. Esta tecnología también se puede usar en combinación con métodos tradicionales de medición de árboles como brújulas mecánicas, cinta diamétrica, hipsómetros, entre otros.

IFER (2015), citado por Benavides *et al.* (2018), menciona que tecnología *Field-Map* cuenta con dos componentes: un componente *software* y un componente *hardware*. El *software* está compuesto por el FM *Project Manager* (FMPM), que permite estructurar una base de datos función a la metodología propuesta en el proyecto; FM *Data Collector* (FMDC), para la toma de datos en campo; FM *Inventory Analyst* (FMIA), para el análisis estadístico de los datos; y el FM *Stem Analyst* (FMSA) para el análisis de datos, en particular datos de fustes. El *hardware* está compuesto por equipos electrónicos; sincronizados y comunicados gracias al *software* incorporado al ordenador principal donde se encuentra almacenada la base de datos.

IFER (2010) indica que la tecnología *Field-Map* permite evaluar árboles individuales, parcelas de investigación, parcelas de inventarios forestales e incluso permite realizar evaluaciones a nivel de paisaje; por ello se aplica en proyectos de inventario forestal, investigación forestal, representación cartográfica de bosques y paisajes, entre otros. Esta tecnología tiene muchas ventajas: puede emplearse en la evaluación de bosques naturales y plantaciones forestales, permite procesar y visualizar los datos en 2D y 3D, optimiza los costos y la precisión de los datos colectados y los resultados finales, reduce el tiempo de reporte y procesamiento de la información, permite integrar información de diversas fuentes de sensores remotos con las mediciones realizadas in situ, y es una tecnología de fácil operación.

En el Perú se han desarrollado investigaciones empleando la tecnología *Field-Map*:

- Zúñiga (2014) comparó los resultados de dos censos forestales ejecutados sobre la misma parcela de corta anual en una concesión de aprovechamiento forestal en el departamento de Loreto. El primer censo se realizó en el 2007 mediante la técnica tradicional y el segundo censo se realizó el 2008 mediante la aplicación de la tecnología *Field-Map*. Encontró que empleando la técnica tradicional se dejaron de evaluar 508 árboles, obteniendo 2 300,59 m<sup>3</sup> menos de madera que en el censo con el *Field-Map*. También encontró que mediante la técnica tradicional la estimación de la altura de los árboles presenta errores -en especial para los árboles con una altura mayor a 23 m- lo que origina estimaciones erróneas del volumen de madera. Finalmente, encontró que el censo tradicional usa más días en la colecta y procesamiento de datos.
- Lago (2019) determinó el Índice de Valor de Importancia (IVI) y las ecuaciones alométricas para las especies dominantes en una parcela permanente de monitoreo de 1 ha en el Bosque Reservado UNAS en Tingo María. Con ayuda de la tecnología *Field-Map* midió el dap, altura total y altura comercial de los árboles; asimismo registró otros atributos como la especie botánica de los árboles evaluados.
- Valdivia (2020) estudió los índices de vegetación para la estimación de biomasa aérea arbórea en sistemas agrosilvícolas de fincas en Zihuateutla (Estado de Puebla, México). Para ello correlacionó cuatro índices de vegetación (obtenidos a partir de imágenes satelitales) con los datos de biomasa (obtenidos mediante la medición de 20 parcelas de 100 m<sup>2</sup> instaladas en sistemas agroforestales con café). Para la evaluación de cada parcela empleó la tecnología *Field-Map*, que permitió la georreferenciación de todos los árboles y cafetos y la medición de las variables dasométricas necesarias para la estimación de la biomasa mediante ecuaciones alométricas.

IFER (2012) reporta en su sitio web como usuarios de la tecnología *Field-Map* en Perú a:

- Empresa MAP GeoSolutions (MAPGS).
- Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre (MINAGRI).
- Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS)

- Universidad Nacional de Jaén (UNJ)
- Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)