

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA MADERA DE
RALEO DE *Guazuma crinita* Martius PROVENIENTE DE
PLANTACIONES DE TRES AÑOS, HUÁNUCO-PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL**

TERESA VANESA HUAMÁN LUDEÑA

LIMA - PERÚ

2020

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA MADERA DE
RALEO DE *Guazuma crinita* Martius PROVENIENTE DE
PLANTACIONES DE TRES AÑOS, HUÁNUCO-PERÚ”**

Presentada por:

TERESA VANESA HUAMÁN LUDEÑA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO FORESTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

.....
Ing. Manuel Chavesta Custodio, Mg.Sc.

PRESIDENTE

.....
Ing. Miguel Ángel Meléndez Cárdenas, Mg.Sc.

MIEMBRO

.....
Ing. Carlos Edmundo Chuquicaja Segura, Mg.Sc.

MIEMBRO

.....
Ing. Moisés Pascual Acevedo Mallque, Mg.Sc.

ASESOR

.....
Ing. Manuel Antonio Soudre Zambrano, Mg.Sc.

CO ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres, Dolores y Edgar por su esfuerzo y soporte incondicional

A mis hermanos, Edgar y Edison

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Moisés Acevedo, Mg. Sc., asesor académico, por el apoyo desde el inicio de la investigación, consejos, enseñanzas y paciencia en todo el tiempo que llevo culminar la tesis.

Al Ing. Manuel Soudre, Mg. Sc., asesor científico, por su contribución fundamental en la concepción, diseño e instalación de la plantación experimental; acompañamiento técnico en la fase de trabajo de campo; por su plena disposición, acertadas y valiosas orientaciones en todo el proceso investigativo, desde el inicio hasta la culminación de la tesis.

De manera muy especial, a la empresa Reforestadora Amazónica S.A (RAMSA) y su área de Investigación y Desarrollo (I+D), por haberme dado su plena confianza y la oportunidad de realizar la presente investigación que conto con todo su respaldo técnico, económico y logístico durante la fase de campo, además de facilitarme el apoyo de su personal de campo, Hermanos Max y Jhon Llacctahuaman, Ever Rojas y Pablo Salas.

A mis padres, Edgar por su tiempo en la etapa de laboratorio y a Dolores por sus ánimos pese a la distancia.

A mis amigos de la universidad que me apoyaron en la realización de los ensayos y a Víctor por su motivación constante y palabras de ánimo.

Agradezco a todas y cada una de las personas que me han acompañado en esta etapa y han colaborado en la realización de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1. Consideraciones de la especie	3
1.1 Taxonomía	3
1.2 Distribución geográfica	3
1.3 Descripción botánica	3
1.4 Ecología	4
1.5 Propagación vegetativa	5
1.6 Características de la madera	5
1.6.1 Propiedades anatómicas	5
1.6.2 Propiedades físicas y mecánicas	6
1.6.3 Usos	8
2. Propiedades físico-mecánico de la madera	9
2.1 Propiedades físicas	9
2.2 Propiedades mecánicas	10
3. Variaciones de las propiedades	12
3.1 Variaciones entre y dentro de los árboles	12
3.2 Variación en los rasgos de la madera debido a la presencia de defectos naturales	13
3.2.1 Madera juvenil y madera adulta	13
3.2.2 Madera de reacción	14
3.2.3 Tensiones de crecimiento	15
3.3 Variación en los rasgos de la madera debido a la condición ambiental y genética	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
1. Ubicación y descripción de la zona de estudio	18
2. Caracterización de las parcelas experimentales	19
3. Diseño experimental	20
4. Evaluaciones previas a la operación de raleo genético (g)	21
5. Selección de tratamientos y material de estudio	22
6. Equipos y materiales	22
7. Fase de campo	23
7.1 Caracterización de los árboles en pie seleccionados	23
7.2 Medición de las tensiones de crecimiento en los árboles en pie	24
7.3 Marcado, codificación y colección del material de estudio (trozas basales)	24
8. Fase de gabinete	25
8.1 Habilitación de probetas	25
8.2 Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la madera	27
8.3 Determinación de la excentricidad de la médula en árboles.	28
9. Procesamiento de datos	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
1. Ensiones de crecimiento de los árboles en pie	29
2. Excentricidad de la médula de los clones seleccionados	31
3. Propiedades físicas de la madera	33
3.1 Clasificación de las propiedades físicas de la madera de la especie	41
3.2 Comparación de las propiedades físicas con otros estudios	42
4. Propiedades mecánicas	44
4.1 Clasificación de la especie en estudio	51
4.2 Comparación de las propiedades mecánicas con otros estudios	52
V. CONCLUSIONES	56
VI. RECOMENDACIONES	57
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
VIII. ANEXOS	71

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Clases de aptitud para planificar el establecimiento de plantaciones de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) en la cuenca del río Aguaytía, Ucayali	4
Tabla 2: Valores promedios de los elementos anatómicos de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) de dos edades de raleo de plantaciones comerciales de RAMSA, Puerto Inca, Huánuco	6
Tabla 3: Valores promedios de las propiedades físicas de la sección basal de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) de cuatro edades de plantación en las regiones de Ucayali y Huánuco, baja Amazonía del Perú	7
Tabla 4: Valores promedios de las propiedades mecánicas de la sección basal de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) de tres edades de raleo de las plantaciones comerciales de RAMSA, en Puerto Inca, Huánuco	8
Tabla 5: Características de sitio para las cinco parcelas experimentales de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) en el fundo RAMSA, Puerto Inca, Huánuco	20
Tabla 6: Distribución del número total de tratamientos por cada parcela experimental de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) en el fundo RAMSA, Puerto Inca, Huánuco	21
Tabla 7: Variables consideradas en la caracterización de los árboles de bolaina blanca para su raleo y determinación de las propiedades físico-mecánicas	23
Tabla 8: Distribución de probetas por tratamientos y parcela experimental para la determinación de las propiedades físico-mecánicas	27
Tabla 9: Normas empleadas para determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera	27
Tabla 10: Valores promedios del Indicador de Tensiones de Crecimiento – GSI (mm) de los tratamientos (códigos clonales y testigo) de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	30
Tabla 11: Clasificación de los tratamientos (códigos clonales y testigo) según valores promedios del Indicador de Tensiones de Crecimiento – GSI (mm)	31
Tabla 12: Valores promedios de la excentricidad de la médula (%) de los tratamientos (códigos clonales y testigo) de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	32
Tabla 13: Clasificación de los tratamientos (códigos clonales y testigo) según valores promedios de la excentricidad de la médula	33
Tabla 14: Valores promedios por tratamientos (códigos clonales y testigo) de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	34
Tabla 15: Valores promedios por parcela de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	35

Tabla 16:	Coeficientes de variación entre tratamientos, parcelas y totales de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	36
Tabla 17:	Análisis estadístico de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	37
Tabla 18:	Clasificación de algunas propiedades físicas, según el valor promedio, de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	42
Tabla 19:	Valores promedios por tratamientos (códigos clonales y testigo) de las propiedades mecánicas en condición saturada de la madera de clones de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	45
Tabla 20:	Valores promedios por parcelas de las propiedades mecánicas en condición saturada de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	46
Tabla 21:	Coeficientes de variación entre tratamienos, parcelas y totales de las propiedades mecánicas de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	47
Tabla 22:	Análisis estadístico de las propiedades mecánicas de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	47
Tabla 23:	Clasificación de las propiedades mecánicas, según el valor promedio, de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) en condición saturada	52
Tabla 24:	Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera obtenida en plantación clonal de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) con otros estudios de la misma especie.....	52
Tabla 25:	Coeficiente de determinación, correlación y ecuación de regresión lineal entre densidad básica y las propiedades físico-mecánicos de la madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>)	54

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Efecto de la madera juvenil en las propiedades físicas y mecánicas	13
Figura 2: Mapa de ubicación de las cinco parcelas experimentales de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) instaladas por RAMSA, Puerto Inca, Huánuco.....	19
Figura 3: Obtención y distribución de probetas en bolaina blanca de 3,5 años para determinar las propiedades físico-mecánicas	26
Figura 4: Variación de la densidad saturada por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	38
Figura 5: Variación de la densidad seca al aire por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	38
Figura 6: Variación de la densidad anhidra por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	39
Figura 7: Variación de la densidad básica por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	39
Figura 8: Variación de la contracción radial por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	40
Figura 9: Variación de la contracción tangencial por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	40
Figura 10: Variación de la contracción volumétrica por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	41
Figura 11: Variación del coeficiente de anisotropía (T/R) por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	41
Figura 12: Análisis comparativo de la densidad básica de la zona basal de la madera obtenida en plantación clonal de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) comparado con diferentes autores.....	43
Figura 13: Análisis comparativo de las contracciones y coeficiente de anisotropía (T/R) de una plantación clonal de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) con otro estudio de la misma especie de ocho años	44
Figura 14: Variación del ELP en flexión estática por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	48
Figura 15: Variación del MOR en flexión estática por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	49
Figura 16: Variación del MOE en flexión estática por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	49

Figura 17:	Variación de ELP en compresión paralela por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	50
Figura 18:	Variación de RM en compresión paralela por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	50
Figura 19:	Variación del MOE en compresión paralela por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>).....	51
Figura 20:	Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de clones de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i>) de 3,5 años con otros estudios en plantaciones tradicionales (semilla / no clonal) de la misma especie	53

Índice de anexos

	Página
Anexo 1: Distribución de los clones seleccionados en las cinco parcelas experimentales	71
Anexo 2: Características dasométricas de los clones seleccionados y testigo.....	75
Anexo 3: Medición de las tensiones de crecimiento en el árbol en pie.	77
Anexo 4: Tumbado y codificación de los árboles seleccionados.....	78
Anexo 5: Dimensiones de las trozas seleccionadas en cada parcela.....	79
Anexo 6: Probetas con su respectiva codificación	80
Anexo 7: Ensayos de las propiedades físicas y mecánicas	80
Anexo 8: Coeficientes de variación establecidos por Rubio (2002).....	82
Anexo 9: Estadística de las tensiones de crecimiento	83
Anexo 10: Análisis de correlación para la excentricidad dela médula y las tensiones de crecimiento	83
Anexo 11: Análisis de varianza de densidad básica.....	84
Anexo 12: Análisis de varianza de densidad saturada.....	86
Anexo 13: Análisis de varianza de densidad anhidra.....	88
Anexo 14: Análisis de varianza de densidad seca al aire	90
Anexo 15: Análisis de varianza de la contracción radial	92
Anexo 16: Análisis de varianza de la contracción tangencial	94
Anexo 17: Análisis de varianza de la contracción volumétrica	96
Anexo 18: Análisis de varianza del coeficiente de anisotropía (T/R).....	98
Anexo 19: Análisis de varianza de ELP en flexión estática.....	100
Anexo 20: Análisis de varianza de MOR en flexión estática.....	102
Anexo 21: Análisis de varianza de MOE en flexión estática	104
Anexo 22: Análisis de varianza de ELP en compresión paralela.....	105
Anexo 23: Análisis de varianza de RM en compresión paralela	107
Anexo 24: Análisis de varianza de MOE en compresión paralela.....	109

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera bolaina blanca (*Guazuma crinita*), la cual corresponde al primer raleo a los 42 meses de edad proveniente de una plantación clonal a escala experimental de la empresa Reforestadora Amazónica S.A (RAMSA), situada en Puerto Inca, Huánuco. Los ensayos fueron realizados según las Normas Técnicas Peruanas (NTP) para las propiedades físicas (contenido de humedad, densidades y contracciones) y propiedades mecánicas (flexión estática y compresión paralela). Se hallaron los estadísticos descriptivos de las propiedades físicas y mecánicas por bloques (parcelas experimentales), como por tratamientos (códigos clonales y testigo), así como el Análisis de varianza bifactorial – ANOVA ($p < 0,05$) y la prueba de Tukey; además el análisis de correlación y determinación la densidad básica y las propiedades físicas y mecánicas. Adicionalmente se hallaron los promedios de las tensiones de crecimiento y la excentricidad de la médula. Los resultados indican que para todas las propiedades físicas existen diferencias significativas entre las parcelas experimentales y tratamientos, excepto para las propiedades mecánicas, que sólo presentaron diferencias significativas entre las parcelas experimentales para flexión estática y tratamientos para compresión paralela. Se confirma la presencia de madera juvenil en los clones por su baja densidad y baja resistencia mecánica, no obstante, las propiedades mecánicas tanto de flexión estática (MOR y MOE), como de compresión paralela (RM) fueron superiores hasta 22%, 21% y 40% respectivamente cuando se les comparó con los valores promedio, generados en estudios anteriores, con madera proveniente de plantaciones de bolaina blanca tradicionales (semilla / no clonal), incluso de mayores edades. Por otra parte, la densidad básica de esta madera juvenil no resultó un buen estimador de sus propiedades físico-mecánicas, pero se empezaría a evidenciar la precocidad maderable en términos de flexión estática (MOR), en cuanto se presentó la única relación positiva ($r^2=0,48$). Finalmente, se confirmó la presencia de madera de reacción, por los altos valores de tensiones de crecimiento y excentricidad de la médula.

Palabras claves: Clones, propiedades físicas, propiedades mecánicas, tensiones de crecimiento.

ABSTRACT

The present research was aimed to determine the physical and mechanical properties of bolaina blanca wood (*Guazuma crinita*), which corresponds to the first thinning at 42 months of age that came from a clonal plantation on an experimental scale of the Reforestadora Amazónica SA (RAMSA) company, located in Puerto Inca, Huánuco. The tests were performed according to the Peruvian Technical Standards (NTP) for the physical properties (moisture content, densities and shrinkage) and mechanical properties (static bending and compression parallel to grain). Descriptive statistics of the physical and mechanical properties were calculated by blocks (experimental plots), as well as by treatments (clonal and control codes), as well as the Analysis of two-way variance - ANOVA ($p < 0.05$) and the Tukey test; moreover the analysis of correlation and determination between the basic density and physical and mechanical properties. Additionally, the growth stress and pith eccentricity means were found. The results indicate that for all physical properties there are significant variation between experimental plots and treatments, except for mechanical properties, which only presented significant variances between the experimental plots for static bending and treatments for compression parallel to grain. The presence of juvenile wood in the clones is confirmed due to its low density and low mechanical resistance, however, the mechanical properties of both static bending (MOR and MOE) and compression parallel to grain (RM) were superior up to 22%, 21% and 40%, respectively, when compared mean values, generated in previous studies, with wood from traditional plantations (seed / non-clonal), even of older ages. On the other hand, basic density of this juvenile wood was not a good estimator of its physical-mechanical properties, but it would begin to show the timber earliness in terms of static bending (MOR), as soon as the only positive relationship was presented ($r^2 = 0.48$). Finally, the presence of reaction wood was confirmed, due to the high values of growth stress and pith eccentricity.

Key words: Clones, physical properties, mechanical properties, growth stress.

I. INTRODUCCIÓN

La especie bolaina blanca (*Guazuma crinita*) se caracteriza por ser de rápido crecimiento con turnos de corta de 6 a 8 años, lo cual le atribuye ventajas comparativas frente a otras especies forestales maderables, como consecuencia su producción se ha mantenido vigente como una de las diez especies maderables más aprovechadas a nivel nacional, registrando una producción de 56 693,15 m³ de madera (r) y 256,80 m³ de madera (s) (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2019). Lamentablemente, los productos que se obtienen en su transformación son de bajo valor y tienen usos muy limitados, aunque potencialmente podrían obtenerse mayores beneficios si es que se lograrían producir masivamente bienes de gran utilidad para agroexportación, tableros de partículas, ensamblados y listonados (M. Soudre, comunicación personal, 29 de mayo de 2020).

Debido a sus ventajas y a pesar de sus limitaciones, continúa siendo una de las especies más requeridas para el establecimiento de plantaciones forestales con fines maderables a nivel nacional; no obstante, la actual escasez de semillas de calidad genética apropiada, no le permite lograr la masificación eficientemente de sus plantaciones (Paredes *et al.*, 2010). Es así que la propagación vegetativa (clonación) es una buena alternativa para lograr plantaciones más homogéneas y altamente productivas, pero dicha técnica, por sí sola, no garantiza la obtención de árboles de mejor calidad, siendo preciso realizar ensayos para validar la superioridad mostrada y con ello continuar con el desarrollo del programa de selección genética para la especie (Murillo y Badilla, 2005).

Por lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) proveniente del primer raleo a los 42 meses de una plantación clonal a escala experimental de la empresa RAMSA, ubicado en la provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco, con la finalidad de generar conocimientos acerca de la relación entre calidad maderable y la selección clonal, herramienta fundamental para el mejoramiento genético de la especie con fines productivos.

Hipótesis

Las propiedades físicas (densidades y contracciones) y propiedades mecánicas (flexión estática y compresión paralela) de la madera en condición saturada de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) proveniente de trozas del raleo de una plantación clonal de 3,5 años son similares entre clones y entre parcelas experimentales.

Objetivo general:

- Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de raleo de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) proveniente de una plantación de 3,5 años de edad, Puerto Inca, Huánuco.

Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físicas (densidades y contracciones) y propiedades mecánicas (flexión estática y compresión paralela) de la madera en condición saturada de los tratamientos (códigos clonales y testigo) de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) proveniente de cinco parcelas experimentales de 3,5 años.
- Contrastar los valores de las propiedades físicas y mecánicas de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) proveniente de cinco parcelas experimentales de 3,5 años entre tratamientos (códigos clonales y testigo) y parcelas experimentales.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Consideraciones de la especie

1.1 Taxonomía

Familia: MALVACEAE

Nombre científico: *Guazuma crinita* Martius

Nombres comunes: “Bolaina”, “Bolaina blanca”

Sinónimos botánicos: *Guazuma rosea* Poeppig

1.2 Distribución geográfica

Muy amplia en el Neotrópico desde Centroamérica a la región Amazónica, hasta el sur de Brasil y Bolivia, mayormente hasta los 1500 msnm. La especie abunda en la Amazonia peruana (Reynel *et al.*, 2003). En el Perú, se encuentra en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali, habita dentro de las zonas ecológicas de bosque húmedo pre montano tropical (bh-PT), bosque seco tropical (bs-T) y bosque muy húmedo sub tropical (bmh-ST) (Confederación Peruana de la Madera, 2008).

1.3 Descripción botánica

Árbol de 25-80 cm de diámetro y 15-30 m de altura total, con fuste cilíndrico, la ramificación en el tercer tercio, la base del fuste recta. Corteza externa lisa a finamente agrietada, color marrón claro a grisáceo. Corteza interna fibrosa y conformando un tejido finamente reticulado, color amarillo claro, oxida rápidamente a alva-marrón. Ramitas terminales con sección circular, de unos 3-4 mm de diámetro, usualmente con pubescencia ferrugínea hacia las partes apicales. Hojas simples, alternas y dísticas, de láminas ovadas, frecuentemente asimétricas, aserradas, la nervación palmeada, los nervios secundarios prominulos en haz y envés, el ápice agudo y acuminado, la base cordada, las hojas cubiertas de pubescencia de pelos estrellados y escamosos (10 x) sobre todo por el envés.

Las inflorescencias en panículas axilares con flores pequeñas hermafroditas, con cáliz y corola presentes, de color rosado, con cinco pétalos. Los frutos son cápsulas globosas con la superficie densamente cubierta de pelos largos (Reynel *et al.*, 2003).

1.4 Ecología

Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada (Reynel *et al.*, 2003). Es una especie heliófila, característica de la vegetación secundaria temprana, muy abundante en la cercanía a caminos, zonas con alteración antropogénica y en claros de bosques. Es de baja tolerancia a la competencia y alta capacidad de rebrote (Álvarez y Ríos, 2009). Suele presentarse en suelos limosos a arenosos, muchas veces de escasa fertilidad, a veces pedregosos; no tolera el anegamiento, sobre todo cuando es una plántula (Reynel *et al.*, 2003). Esta especie puede ser plantada en asociación con otras especies agroforestales y otros cultivos debido a que posee copa estrecha con ramas delgadas (Rochon *et al.*, 2007).

La Tabla 1 indica el requerimiento edafo-fisiográfico de mayor importancia a tener en cuenta para el establecimiento de plantaciones de la especie bolaina blanca en la cuenca del río Aguaytía, Ucayali. Se indica trece variables de incidencia en el crecimiento de la especie, de las cuales se señala que el pH con tendencia a la neutralidad y el menor porcentaje de arena, son las que mejor explicarían el crecimiento de la especie (Soudre, 2012).

Tabla 1: Clases de aptitud para planificar el establecimiento de plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en la cuenca del río Aguaytía, Ucayali

Variables ambientales			Clases de aptitud		
			Alta	Media	Baja
Suelos	Físico	Arcilla (%)	> 74%	30-65%	< 30%
		Limo (%)	30-50%	20-40%	< 20%
		Arena (%)	10-20%	20-40%	> 40%
	Químico	pH	6,3 – 7,9	5,1 – 6,2	< 5,0
		CIC (meq)	> 20	15 - 20	< 15
		PSB (%)	> 80%	70 - 80	< 70%
		Ca (meq)	> 18	Dic-18	< 12
		P.S.al (%)	< 2	2 - 8	> 8
Físicográfico	Paisaje	Drenaje	Moderado	Bueno a moderado	Muy bueno
		Nivel de inundación (m)	< 0,5	0,5 - 1	< 1
	Paisaje	Fisiografía	Orillares- Terrazas medias	Terrazas onduladas-lomadas	> Colinas altas
		Pendiente (%)	Plano - Ligeramente inclinado (0 - 4)	Inclinaciones fuertes (15-25)	Empinado (>25)
		Profundidad efectiva (cm)	Muy profunda (>150)	Mod. Profunda - Profunda (50-150)	Superficial (<50)

Fuente: Soudre (2003 y 2012)

1.5 Propagación vegetativa

La clonación de bolaina blanca con respecto a otras especies, presenta menor complejidad debido a su alta capacidad de enraizamiento. Asimismo, la especie se caracteriza por tener buena capacidad de rebrote, bajo nivel de competencia y rapidez de crecimiento (Soudre, 2010; Tello y Tello, 2016).

Para la propagación de esta especie se deben seguir una serie de pasos, se comienza con la identificación y selección de los bosques con dominancia de bolaina blanca o plantaciones homogéneas originadas de semillas sexuales de comprobada calidad, luego la selección de árboles plus con características morfológicas superiores (fuste recto, sano y sin bifurcaciones; ramas delgadas, copa pequeña y con Dap y altura superior al promedio). Los árboles seleccionados son sometidos a corte raso, siendo mejor el corte oblicuo, para que emitan brotes que se colectarán luego de 30 a 70 días, lo cual va variar según la procedencia del árbol donante y su juvenibilidad. Posteriormente se procede a realizar el recorte de estacas, desinfección e instalación en microtúneles, donde se las coloca en bandejas con sustrato de arena para que después de 15 días logren enraizar y se proceda al repique en bolsas, luego estará en la etapa de aclimatación por 30 días y finalmente se culmina con la viverización durante 45 días hasta que la plántula tenga 25 a 30 cm de longitud y raíces activas diferenciadas para el establecimiento en campo definitivo (Soudre, 2011; Guerra *et al.*, 2018; Tello y Tello, 2016).

1.6 Características de la madera

1.6.1 Propiedades anatómicas

Respecto a las características macroscópicas, la madera seca al aire se caracteriza por ser de color blanco pálido 8/3 10YR, tener grano recto, olor y sabor no distintivos, textura y brillo medio (Piccone, 2019). Mientras que, para las características microscópicas Gonzales (2008) y Piccone (2019) indican que es una madera con poros difusos y visibles a simple vista, solitarios y múltiples radiales de 2 a 4, tiene parénquima apotraqueal difuso en agregados y paratraqueal unilateral, elementos vasculares con platinas de perforación simple, radios con células procumbentes y tipo baldosas, fibras libriformes, presencia de cristales prismáticos en radios no estratificados y anillos de crecimiento diferenciados.

En cuanto a los valores promedios de los elementos anatómicos que componen la madera de bolaina blanca, Miguel (2013) hizo una caracterización de la anatomía de la madera de raleo de cuatro años proveniente de las plantaciones comerciales de RAMSA, mientras que Piccone (2019) hizo lo mismo para madera de raleo de tres años proveniente de las mismas plantaciones, obteniendo los siguientes promedios:

Tabla 2: Valores promedios de los elementos anatómicos de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de dos edades de raleo de plantaciones comerciales de RAMSA, Puerto Inca, Huánuco

Fuente	Edad (años)	Poros/vasos			Radios			Fibras		
		Diámetro Tangencial (µm)	Nº poros/mm ²	Long. (µm)	Altura (µm)	Ancho (µm)	Nº Radios/mm	Diam. total (µm)	Espesor pared (µm)	Long (µm)
Miguel (2013)	4	134,5	6	303	702	46,5	4	24	1,75	1052
Piccone (2019)	3,5	136	4	280	960	136	9	28	2,3	1384

Fuente: elaboración propia

1.6.2 Propiedades físicas y mecánicas

En la Tabla 3 se aprecian los valores promedios de las propiedades físicas de madera de bolaina blanca de sección basal de distintas edades y plantaciones, se muestran los resultados obtenidos por Weber y Sotelo-Montes (2008) para árboles de 32 meses de once procedencias de la cuenca Aguaytía y establecidas en tres zonas de plantación (parte baja, media y alta de la cuenca Aguaytía); por Chavesta *et al.* (2019) para árboles de cinco y ocho años proveniente de plantaciones comerciales en Puerto Inca, Huánuco; por Tuisima (2015) para árboles de ocho años y seis procedencias de la Cuenca Aguaytía establecidos en huertos semilleros en el INIA de Pucallpa, Ucayali; por Cárdenas (2012) para árboles de diez años ubicados en hileras al borde de un predio en Huánuco y Segura (2012) para una plantación agroforestal en Huánuco.

Tabla 3: Valores promedios de las propiedades físicas de la sección basal de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de cuatro edades de plantación en las regiones de Ucayali y Huánuco, baja Amazonía del Perú

Propiedades físicas	Unidad	Fuente / Autoría						
		Weber y Sotelo-Montes (2008)	Chavesta <i>et al.</i> , (2019)	Chavesta <i>et al.</i> , (2019)	Tuisima (2015)	Cárdenas (2012)	Segura (2012)	
Edad	Años	2,6	5	8	8	10	-	
Contenido de humedad	%	-	-	-	12	-	-	
Peso específico	-	-	-	-	0,52	-	-	
Densidades	Básica	g/cm ³	0,46	0,41	0,43	0,50	0,33	0,38
	Saturada	g/cm ³	-	-	-	0,84	0,65	0,77
	Seca al aire	g/cm ³	-	-	-	0,60	-	-
	Anhidra	g/cm ³	-	-	-	0,55	0,37	0,41
Contracciones	Tangencial	%	-	5,72	5,98	6,48	5,28	-
	Radial	%	-	3,07	3,37	3,93	3,35	-
	Longitudinal	%	-	-	-	-	0,19	-
	Volumétrica	%	-	8,57	9,19	10,26	8,88	-
Coefficiente anisotropía	T/R	-	-	1,86	1,77	1,8	1,57	-

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 4 se muestran los valores promedios de las propiedades mecánicas de madera de raleo de bolaina blanca de sección basal (13% CH), de cuatro, cinco y seis años de edad, proveniente de plantaciones comerciales de RAMSA en Puerto Inca, Huánuco.

Tabla 4: Valores promedios de las propiedades mecánicas de la sección basal de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de tres edades de raleo de las plantaciones comerciales de RAMSA, en Puerto Inca, Huánuco

Propiedades mecánicas	Unidad	Fuente / Autoría			
		Urbina (2017)	Sueros (2017)	Aguilar (2019)	
Edad	Años	4	5	6	
Contenido de humedad	%	13,39	13,8	12,18	
Peso específico	-	0,37	0,31	0,32	
Flexión estática	ELP	kg/cm ²	347,71	313,9	170,5
	MOR	kg/cm ²	509,89	456,1	424,66
	MOE	t/cm ²	72,52	65,3	60,97
Compresión paralela	ELP	kg/cm ²	190,88	158,6	142,48
	RM	kg/cm ²	234,63	230,9	228,05
	MOE	t/cm ²	92,97	91,9	75,71
Compresión perpendicular	ELP	kg/cm ²	32,06	33,6	23,06
Dureza	Extremo	kg/cm ²	247,94	293,4	594,06
	Lado	kg/cm ²	153,84	185,9	334,53
Cizallamiento		kg/cm ²	53,58	58,5	48,3
Tenacidad	Tangencial	kg.-m	0,60	*	0,6
	Radial	kg.-m	0,59	*	0,57

Fuente: elaboración propia

1.6.3 Usos

La madera de bolaina blanca se utiliza para la elaboración de productos como machihembrados que se usan para forros de vivienda, embalajes para cajas de espárragos, madera liviana para uso en carpintería y muebles; también sirve como materia prima para la fabricación de puertas sólidas, mediante la aplicación de tecnologías industriales tipo tablero de listones (blockboard), los cuales requieren que tengan un adecuado proceso de secado, cepillado y aplicación de pegamentos industriales tipo PVC (Álvarez y Ríos, 2009).

Entre los usos potenciales que se le puede dar a la madera bolaina blanca, proveniente de raleos de plantaciones de cuatro años, tomando en consideración su densidad básica y sus propiedades mecánicas, serían cajonería liviana, artesanías, juguetería y tableros de partículas (Urbina, 2017). Mientras que Aguilar (2019) señala que la madera de raleo de plantaciones de seis años se podría usar para la obtención de pulpa para papel, debido a que los espesores y largo de fibra de esa edad permitirían su uso.

Otro de los usos potenciales para esta especie, es el uso de los residuos del proceso del aserrío para la bioindustria, específicamente es un importante insumo para la producción de enzimas degradadoras de celulosa, que en el país son importadas para fabricar productos

como detergentes, alimentos de animales y humanos, cervecerías y textiles, entre otros; asimismo, con dichos residuos se podrían obtener nanomateriales (nanofibras y nanocristales) de celulosa de aplicación industrial, a través de métodos biológicos (Villena, 2018).

2. Propiedades físico-mecánico de la madera

2.1 Propiedades físicas

Dentro de las diversas propiedades de la madera, la densidad es la más utilizada por su facilidad de ser determinada y porque se correlaciona directamente con las propiedades físico-mecánicas de la madera y la composición celular (Batista *et al.*, 2010), esta propiedad es determinada como peso por unidad de volumen. Al ser el indicador más importante de la resistencia de la madera, puede predecir características tales como: dureza, facilidad de procesamiento y resistencia al clavado. Por ejemplo, las maderas densas generalmente se contraen e hinchan más y usualmente presentan mayores problemas en el secado (Bruce, 2000).

La densidad más ampliamente usada es la *densidad básica* pues expresa la cantidad de sustancia leñosa seca presente en un volumen dado de madera, cuando ésta se encuentra a un contenido de humedad igual o mayor al punto de saturación de las fibras (psf), se usa el término *básico* debido a que el volumen en estado verde y el peso seco al horno son casi constantes (Cisternas, 1994; Barnett y Jeronimidis, 2003). Asimismo, es frecuente usar el *peso específico*, peso seco al horno de una muestra de madera sobre el peso del volumen de agua desplazado por la muestra a un determinado contenido de humedad: verde, seco al aire o seco al horno (Forest Products Laboratory, 2010). Otra forma de determinar el peso específico es mediante la división de la densidad de una sustancia con la densidad de agua pura (4°C), por lo que es una cantidad sin unidades. Debido a que la densidad del agua puede considerarse igual a 1 g/cm³, el peso específico es numéricamente igual a la densidad, asumiendo el mismo principio de su determinación y bajo condiciones de seco al horno o anhidra (Barnett y Jeronimidis, 2003). Al igual que la densidad, las especies maderables con peso específico alto pueden encogerse e hincharse más a medida que cambia el contenido de humedad y son diversos los factores que contribuyen a la variación del mismo como son los extractivos (resinas, gomas, entre otros) ubicados dentro y alrededor de las células (Lyon, 2016).

Otra propiedad física importante es la contracción de la madera, la cual ocurre cuando se pierde humedad de las paredes celulares y se da de forma proporcional a la humedad perdida por debajo del punto de saturación de las fibras ($< 30\%$ CH). Debido a la anisotropía de la madera, que es la variación de las propiedades según la dirección (axial, radial y tangencial), la contracción varía según la dirección que se analiza, por ello la contracción tangencial es de alrededor de 1,5 a 2,5 veces la contracción radial y éstas a su vez mayores a la contracción longitudinal, que por lo general es pequeña ya que los valores de un estado saturado a seco al horno está entre 0,1 % a 0,2 % para la mayoría de las especies. Sin embargo, la contracción longitudinal puede aumentar excesivamente en piezas que tengan madera de reacción, madera juvenil o grano entrecruzado, pudiendo alcanzar valores de 2 y causando deformaciones o produciendo roturas en las zonas de alta contracción, por lo que debe ser evitado en usos donde la estabilidad longitudinal es requerida (Glass y Zelinka, 2010).

Por otra parte, las contracciones axial, radial y tangencial, que en conjunto representan la contracción volumétrica, están relacionadas a las características anatómicas y químicas de la madera, por lo que una variación en la composición química, contenido de extractivos, morfología de la fibra, microestructura como la alineación de las microfibrillas y la proporción de los tejidos influenciará en la densidad y por ende en las contracciones (Glass y Zelinka, 2010; Charifo, 2011; Barnett y Jeronimidis, 2003; Walker, 2006).

2.2 Propiedades mecánicas

Para evaluar los usos de una determinada madera es necesario que se conozcan sus propiedades físico-mecánicas, pues ello permite compararlo con las propiedades de otras maderas conocidas, y por analogía se puede indicar las pruebas adicionales necesarias para conocer su utilización (Stangerlin *et al.*, 2008).

Las propiedades mecánicas de la madera se ven influenciadas en primer lugar por su naturaleza, pues es un material anisotrópico y heterogéneo, asimismo cambia por especies, variabilidad biológica y una amplia gama de irregularidades y defectos. De todas las propiedades, la resistencia de la madera no solo determina el rendimiento mecánico de una pieza terminada, sino también es un factor importante en procesos como el secado, aserrado, curvado, pegado, entre otros (Bruce, 2000). Además, son dependientes principalmente por la densidad básica, contenido de humedad, porcentaje de madera juvenil, ancho de los anillos, ángulo microfibrilar, inclinación del grano, la cantidad de extractivos, intensidad de ataque

de insectos, tipo, localización y cantidad de nudos, entre otros (Evans citado por Lobão *et al.*, 2014).

Dentro de las propiedades mecánicas, se tiene la flexión estática que se refiere al comportamiento que tiene la madera al ser sometida a una carga aplicada en su cara tangencial con el objetivo de provocar su flexión, en ese proceso ocurren cuatro tipos de esfuerzos: compresión paralela a las fibras en la parte donde se aplica la carga, tracción paralela a las fibras en la parte inferior y opuesta a la carga, cizallamiento horizontal en la línea neutra y compresión perpendicular a las fibras en los puntos de apoyo, en consecuencia hasta un determinado punto presenta una característica elástica, es decir vuelve a su estado original si se deja de aplicar la fuerza y a partir del punto donde la madera deja de ser elástica, pasa a ser plástica, lo que indica que ya no presenta la capacidad de retornar a su estado original (Calil, citado por Mello 2007; Moreschi, 2005). Por ejemplo, la madera usada como viga, vigueta, piso, piezas de armadura de techos, tableros de mesas, asiento de sillas experimenta esfuerzos de flexión (Desch y Dinwoodie, 1996).

En cuanto a la compresión paralela a las fibras, ésta se evalúa aplicando una carga sobre la sección transversal de la muestra o en el sentido paralela a las fibras de la madera, con velocidad controlada, hasta su ruptura. Al igual que en la flexión estática, en esta prueba se determina la resistencia máxima y el límite elástico para los cálculos del módulo de elasticidad y el esfuerzo al límite proporcional (Moreschi, 2005). Esta propiedad es importante porque a partir de ella se puede estimar propiedades como la compresión perpendicular a las fibras y la tracción paralela a las fibras (Scaliante *et al.*, 2011). En definitiva, para usos como columnas, patas de sillas, entre otros es requerido madera con alta resistencia a la compresión paralela, asimismo ella está relacionada a la densidad y contenido de humedad (Desch y Dinwoodie, 1996).

3. Variaciones de las propiedades

3.1 Variaciones entre y dentro de los árboles

La variación entre árboles es significativa, la cantidad difiere considerablemente entre especies; sin embargo, esta variación es genéticamente controlada, es así que el uso de la propagación vegetativa puede producir árboles con madera similar dentro de un determinado clon; sin embargo, las diferencias entre clones pueden ser significativas (Zobel y Buijtenen, 1989).

Walker, citado por Tsehaye (1995), indica que independientemente de la especie o del lugar del establecimiento de la plantación, la variación de las propiedades de la madera entre árboles es considerable, ésta refleja el alto nivel de variación genética dentro de la población. Además, existen algunos patrones de variabilidad dentro de los árboles, el primero es dentro del anillo de crecimiento que al tener presente madera *temprana* y *tardía*, muestran diferencias en la distribución y características de los elementos anatómicos que los forman; el segundo es en el sentido *médula a corteza*, que es frecuentemente referido a las características de la madera juvenil y adulta donde generalmente tiende a aumentar el peso específico y el tamaño de las fibras; y el tercero es en el sentido de la *base a parte superior* del árbol, que también está relacionado a la proporción de madera juvenil; sin embargo, los cambios en las características anatómicas y propiedades de la madera no son significativos (Zobel y Buijtenen, 1989).

En relación con este tema, Cruz *et al.*, (2003) indican que las propiedades físicas y mecánicas varían más acentuadamente en el sentido *médula a corteza* que en el sentido de la *base a parte superior* de los árboles. Hecho que habría sido validado posteriormente al evaluar las propiedades de la madera de *Eucalyptus urophylla* de 3,6 años, en el sentido radial y longitudinal, encontraron variaciones a lo largo del sentido *médula a corteza*, habiendo tendencia de aumento del peso específico, contracción longitudinal, longitud de fibra, diámetro de los vasos y los módulos de ruptura y elasticidad de la flexión estática, mientras que en el sentido longitudinal no se encontró diferencia estadística significativa en las propiedades (Evangelista *et al.*, 2010). Así como también, al evaluar las propiedades de la madera de *Tectona grandis* de 32 años, donde encontraron una tendencia de aumento en el sentido *médula a corteza* para la resistencia a la compresión paralela a las fibras, cizallamiento, módulo de ruptura y elasticidad para la flexión estática y densidad aparente,

probablemente, su ocurrencia sería debido al aumento de la proporción de madera adulta en relación de la madera juvenil (Lima *et al.*, 2011).

3.2 Variación en los rasgos de la madera debido a la presencia de defectos naturales

3.2.1 Madera juvenil y madera adulta

La madera formada en una etapa temprana del crecimiento del fuste de un árbol se conoce como madera juvenil, ésta se encuentra en la parte central de la sección transversal del fuste. Asimismo, independientemente de la edad, la madera juvenil continúa formándose durante cada temporada de crecimiento cerca a la médula (Shmulsky y Jones, 2011). Ésta es producida por las células meristemáticas de un cambium joven, por lo que se le encuentra en la parte interna de la sección transversal y en mayor proporción en las partes más altas del tallo (Barnett y Jeronimidis, 2003). Mientras que la madera adulta comienza a formarse a medida que disminuye el efecto de los meristemos apicales en la base del tronco del árbol (Evert, citado por Delucis *et al.*, 2014).

La madera juvenil se caracteriza por tener fibras más cortas con paredes celulares más delgadas, diámetro de lumen más grande y ángulos de microfibrilla más amplios, lo cual produce que la madera tenga menor gravedad específica, mayor contenido de lignina, menor contenido de celulosa, menor resistencia y mayores cambios dimensionales longitudinales (Barnett y Jeronimidis, 2003). Por su parte, la madera adulta tiene propiedades anatómicas preferibles en relación con la madera juvenil, como mayor longitud de fibras y menor ángulo microfibrilar de la capa S₂ de la pared celular, presentando así una mayor estabilidad y menos propensión a los defectos de secado y al procesamiento (Alves, 2011).

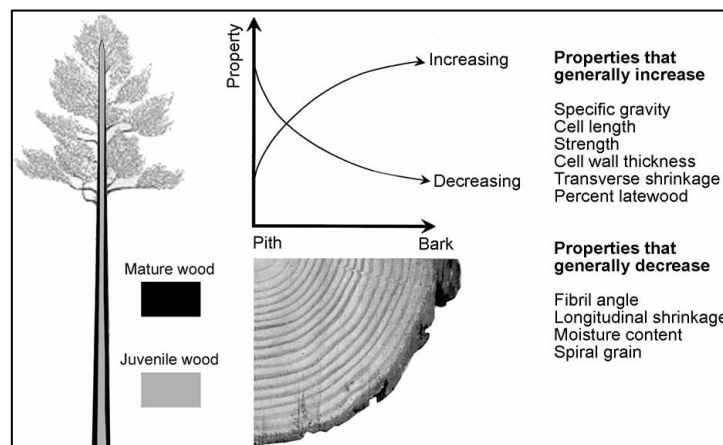


Figura 1: Efecto de la madera juvenil en las propiedades físicas y mecánicas

Fuente: Hernández *et al.*, 2005

El comportamiento mecánico de la madera juvenil y adulta es diferente, esto sería confirmado en un estudio de tres especies forestales de latifoliadas, donde su madera juvenil presentó resistencia mecánica en flexión estática significativamente inferior a la madera adulta (Vergara *et al.*, 2014). Mientras que la madera adulta en árboles de teca de plantaciones tuvo valores 20% superiores para MOR y MOE respecto a la madera juvenil (Bhat *et al.*, 2001). La proporción de madera juvenil puede variar por genética, sitio, clima, silvicultura, densidad de plantación, edad, entre otros (Zobel y Buijtenen, 1989). Debido a que la madera juvenil tiene una relación negativa con la edad de rotación, las propiedades de la madera de bosque natural casi siempre son mayores (Bendtsen y Senft, citado por Kuai *et al.*, 2019).

3.2.2 Madera de reacción

Los árboles reaccionan a fuerzas continuas como vientos predominantes, crecimiento geotrópico, peso de las ramas, efecto de borde, posición descentralizada de la copa de los árboles y terrenos inclinados que actúan en el tronco y las ramas, afectando la posición de equilibrio y formando entonces el leño de tracción. La mayoría de las veces, la madera de reacción puede ser verificada a partir del crecimiento excéntrico de la médula (Ferreira, 2007, Ferreira *et al.*, 2008). Este tipo de madera se caracteriza anatómicamente por tener vasos pequeños y en menor proporción, asimismo las fibras no pueden formar una pared secundaria adecuada y en su lugar forman una capa de pared altamente celulósica llamada capa G, o capa gelatinosa. Por ello la composición química de este tipo de madera se caracteriza por tener un menor contenido de lignina y hemicelulosa y un mayor contenido de celulosa (Forest Products Laboratory, 2010; Barnett y Jeronimidis, 2003).

Una alta proporción de madera de reacción en el tronco es considerada como indeseable para cualquier aplicación estructural, debido principalmente a que se ven afectadas las propiedades mecánicas luego del proceso de secado (Ramage *et al.*, 2017). Comparado a una madera normal, a igual densidad, la madera de reacción puede ser excepcionalmente débil en compresión paralela a las fibras. Sin embargo, es ligeramente más resistente en tensión y tenacidad. En cuanto a las contracciones, tiene una contracción longitudinal anormalmente alta, probablemente sea por la presencia de la capa G, la contracción radial normal y la contracción tangencial bastante mayor (Desch y Dinwoodie, 1996).

3.2.3 Tensiones de crecimiento

El término tensiones de crecimiento se refiere al permanente estrés mecánico soportado por el árbol en pie durante su crecimiento (Gril *et al.*, 2017). Dicho término engloba dos tipos de tensiones que coexisten en el árbol, uno de ellos es la tensión de soporte que está producido por las cargas debido al peso propio del árbol y el otro es la tensión de maduración ocasionada por el proceso de maduración de las fibras (Touza, 2001). Las tensiones de crecimiento tienen su origen en el crecimiento de las células que produce el cambium y que durante el proceso de envejecimiento tienden a expandirse transversalmente y a contraerse longitudinalmente, causado por el desarrollo de la pared secundaria de la fibra en donde la lignina es depositada entre las microfibrillas de las células, esto a su vez se ve obstaculizado por las células formadas en años anteriores, generando un conjunto de tensiones (Touza, 2001; Valdés, citado por Mutizabal 2008).

Las principales consecuencias de las tensiones de crecimiento son: rajaduras en las caras transversales de los rollizos que pueden prolongarse en forma longitudinal y defectos como deformaciones o alabeos que disminuyen la calidad de la madera aserrada. Asimismo, las tensiones de crecimiento son un indicador de la existencia de madera de reacción, cuyas características anatómicas presentan importantes variaciones respecto a las de la madera normal (Barnett y Jeronimidis, 2003; Touza, 2001).

3.3 Variación en los rasgos de la madera debido a la condición ambiental y genética

Las causas de la variación de las características de la madera son consideradas como resultado de los factores ambientales específicos o factores genéticos controlados internamente, aunque siempre hay una interacción de estos factores para producir cierto tipo de madera, en general cualquier acción que haga que un árbol altere sus patrones de crecimiento probablemente tendrá un efecto sobre la madera producida (Zobel y Jett, citado por Ferreira 2007).

Entre los factores ambientales responsables de las modificaciones de la madera se pueden nombrar al clima, el suelo, la topografía, entre otros. Los árboles plantados en pendientes son susceptibles a la acción de vientos, tendiendo a formar un tipo de madera diferente, denominada madera de reacción (Monteiro *et al.*, 2010). Hecho corroborado al estudiar la madera de cuatro clones de *Eucalyptus* en plantación de dos años de edad en tres zonas con diferentes inclinaciones (plano, pendiente ligera y pendiente fuerte), donde se determinó que

la densidad básica fue mayor en las zonas con pendiente y en la posición más cerca a la corteza, en tanto la contracción volumétrica y el módulo de ruptura en flexión estática fue mayor en la madera de reacción de la zona con pendiente fuerte (Ferreira, 2007).

En cuanto a la condición genética, la identificación y desarrollo de poblaciones genéticamente superiores de especies forestales, es una clave para establecer plantaciones mejoradas. Las poblaciones genéticamente superiores conllevan a la mejora de características cualitativas y cuantitativas de interés económico o ecológico, tales como la reducción significativa del turno de corta, la resistencia de plagas y enfermedades y la adaptación a sitios específicos con limitantes ambientales importantes (Cornelius, citado por Mora, 2017).

La mejor opción para aumentar el rendimiento comercial de las plantaciones y reducir el tiempo de los turnos de rotación, es a través del mejoramiento genético (Solórzano, 2010). El cual se puede lograr con ayuda de la clonación (propagación vegetativa), la cual se define como la reproducción de una planta a partir de una célula, tejido, órgano (raíces, tallos, ramas, hojas), orientándose a la reproducción idéntica de plantas con características deseables como la alta productividad, calidad superior o tolerancia al estrés biótico o abiótico, según sean las condiciones de crecimiento (luz, temperatura, nutrientes y sanidad) (Rojas *et al.*, 2004). La propagación vegetativa es la producción de plantas con características genéticas idénticas a la planta madre, ésta se logra principalmente a través de técnicas de injertado, enraizamiento de estacas y cultivo *in vitro* (Aparicio *et al.*, 2011). De las técnicas mencionadas, el enraizamiento de estacas juveniles (mini estacas o estaquillas) es la más relevante en el campo forestal debido a su practicidad y bajos costos (Soudre *et al.*, 2008; Soudre, 2010; Martínez y Ochoa, 2010).

Las estacas son unidades reproductoras que se obtienen separando de la planta madre un segmento que contenga zonas meristemáticas, se pueden obtener de tallos, hojas o raíces, que colocadas en condiciones favorables son capaces de formar un nuevo individuo con caracteres iguales a la planta madre (Barceló *et al.*, 2001). El uso de estacas hace más efectivo el rendimiento de las plantaciones forestales por las ganancias logradas en términos de volumen, calidad de madera, rectitud de fuste y resistencia a enfermedades (Radke y Radke, 2004).

Soudre, citado por Basauri (2017), realizó propagación vegetativa por estacas de bolaina blanca empleando rebrotes manejados, donde obtuvo cerca del 90% de estaquillas enraizadas en cámaras de propagación, teniendo casi 100% de sobrevivencia de los clones. Mientras que Ramos (2015), empleando estacas juveniles con 2/3 de su hoja, en cámara de sub irrigación, sólo obtuvo un 14% de porcentaje de enraizamiento debido a las condiciones de la cámara y la edad de los árboles de los cuales se obtuvieron los brotes.

El mejoramiento genético de especies maderables influye en gran medida en el aumento de la productividad y calidad de plantaciones forestales. Por ejemplo, en Brasil y Colombia, el desarrollo de germoplasma superior, ha significado un incremento de hasta el 200% en la productividad neta de madera en especies tropicales y subtropicales (Zobel y Talbert, 1984). Mientras que en un estudio sobre el mejoramiento genético en *Tectona grandis*, se determinó la existencia de una heredabilidad en el diámetro, la altura total del árbol y su período de floración (Callister y Collins, 2008), en tanto, con el objetivo de observar el comportamiento del ensayo clonal a 2,5, 3,5 y 4,5 años de edad, de la misma especie, encontró fuerte heredabilidad a los 4,5 años, en cuanto a las características de diámetro, volumen y altura total del árbol, en orden de importancia (Molina, 2017).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Ubicación y descripción de la zona de estudio

El material de estudio fue extraído de la plantación clonal experimental de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de 3,5 años de edad, la cual se encuentra distribuida en 5 bloques o parcelas experimentales en el fundo de propiedad de la empresa RAMSA, los primeros tres bloques (*I, II, III*) están en el sector denominado RAMSA-Maquizapallo, y los dos bloques restantes (*IV y V*) están en el sector RAMSA-Calera. Todas las parcelas experimentales se ubican en el distrito de Puerto Inca, provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco; geográficamente a 9°27'20.87" latitud S y 74° 55'49.34" longitud W, en la margen derecha del Río Pachitea.

Respecto a las características del clima, la estación meteorológica de Puerto Inca (SENAMHI, 20016-2018), registró temperatura media anual de 27°C, siendo la temperatura máxima y mínima en promedio de 35°C y 20°C respectivamente, humedad relativa promedio de 84% y precipitación anual promedio de 2300 mm, cabe resaltar que las precipitaciones más significativas se presentan en mayor intensidad, duración y frecuencia entre los meses de diciembre a marzo, mientras que las menores entre los meses de abril a noviembre (GOREHCO, 2016). Asimismo, en base al Mapa Climático del Perú elaborado por el SENAMHI (2011), la zona de estudio se ubica en la Selva Tropical Húmeda con clima de tipo lluvioso a muy lluvioso, cálido y húmedo en todas las estaciones del año.

En cuanto a las características de relieve y suelo, según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú del MINAM (2019), el área de interés se ubica en el ecosistema de bosque de colina baja de terrenos disectados no inundables, con colinas de alturas relativas de 20 a 80 metros y con pendientes moderadas (25-30%) a empinadas (hasta 50%), además de acuerdo al Mapa de Capacidad Mayor de Suelos de la provincia de Puerto Inca, se encuentra en suelos con aptitud forestal de calidad agrológica media y tierras de protección con limitaciones por suelos y erosión, con suelos moderadamente profundos a profundos de textura fina, media a moderadamente gruesa (Municipalidad Provincial de Puerto Inca, 2013; GOREHCO, 2016).

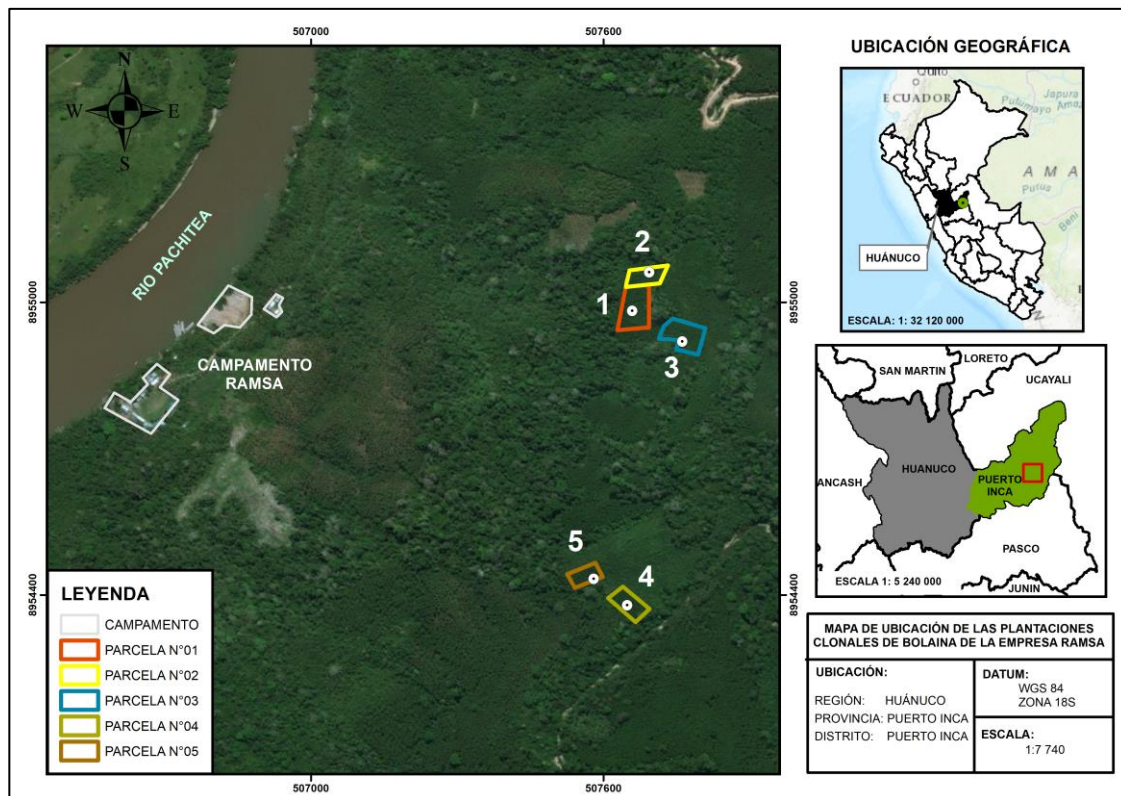


Figura 2: Mapa de ubicación de las cinco parcelas experimentales de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) instaladas por RAMSA, Puerto Inca, Huánuco

2. Caracterización de las parcelas experimentales

Para caracterizar los sitios de cada parcela experimental, se determinaron los principales rasgos topográficos en términos del relieve y su equivalente de inclinación o pendiente, así como del suelo (Tabla 5), donde habrían dos factores claramente diferenciales entre las parcelas experimentales, el primero es una gradiente ascendente de pendiente promedio (plano inundable temporal <1%, plano no inundable 2 a 3%, ondulado suave 3 a 10%, ondulado fuerte 11 a 45% y ladera >45%) el segundo son dos grupos de acidez, de pH muy ácido (≤ 5) para las parcelas *I* y *IV* y pH ácidos (<7) para las parcelas *II*, *III* y *V*. Por el contrario, las texturas mostraron homogeneidad al encontrarse solo texturas franco arcillosas en todas las parcelas experimentales.

Tabla 5: Características de sitio para las cinco parcelas experimentales de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en el fundo RAMSA, Puerto Inca, Huánuco

Parcela Expe. (Código)	Ubicación de calicatas		Características					
	Coord. (X)	Coord. (Y)	Topográficas		Suelo			
			Clases de relieve	Pendiente prom. (%)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	pH
I	507659	8954982	Plano no Inundable	2 a 3	27	28	45	4,74
II	507694	8955061	Ladera	> 45	25	31	44	5,09
III	507762	8954919	Ondulado Suave	3 a 10	23	33	43	5,51
IV	507649	8954379	Plano Inundable	< 1	27	35	38	5,00
V	507580	8954433	Ondulado Fuerte	11 a 45	27	31	42	5,55

Fuente: RAMSA

3. Diseño experimental

La plantación clonal experimental se instaló a un distanciamiento de 3,5 m x 3,5 m, cuenta con una población de 800 árboles de bolaina blanca en una superficie total cercana a una hectárea, además de dos líneas de árboles en todo su borde (perímetro), ésta fue instalada en noviembre del 2013 en el fundo RAMSA, distrito de Puerto Inca, departamento de Huánuco.

El diseño experimental corresponde a bloques completamente al azar (DBCA), bipariado; donde los 5 bloques (parcelas experimentales) fueron diferenciadas bajo el criterio de la siguiente gradiente ascendente de inclinaciones (intervalos de pendientes promedio: <1%, 2-3%, 3-10%, 11-45% y >45%); además cada parcela experimental está constituida por un total de 41 tratamientos (40 códigos clonales y 1 código testigo), donde cada uno de estos códigos están representados por dos pares de árboles del mismo tratamiento (4 repeticiones/código); además todos los tratamientos fueron distribuidos y plantados de forma aleatoria en *dos parejas de árboles vecinos* del mismo tratamiento (bipariado), esta forma de distribuir los tratamientos tuvo la finalidad de garantizar que cuando llegase el momento del raleo genético siempre quede al menos un ejemplar selecto de cada tratamiento. En cuanto al tratamiento testigo, también está conformado por dos pares de árboles, pero estos fueron producidos con semilla garantizada proveniente de los huertos semilleros manejados por el consorcio científico-empresarial (ICRAF-PROSEMA).

Tabla 6: Distribución del número total de tratamientos por cada parcela experimental de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en el fundo RAMSA, Puerto Inca, Huánuco

Parcela experimental	Árboles clonales (N°)	Árboles testigos (N°)	Totales de árboles (N°)
I	160	4	164
II	160	4	164
III	158	4	162
IV	160	4	164
V	144	2	146

Fuente: RAMSA

4. Evaluaciones previas a la operación de raleo genético (G)

Debido al rápido crecimiento de las plantaciones de bolaina blanca, la empresa RAMSA realiza raleos intermedios a lo largo de todo el turno de rotación de sus plantaciones comerciales, lo cual permite eliminar gradualmente una proporción importante de la población de árboles instalados originalmente, para el cálculo de esta proporción u selección de individuos a ralear, se realizan evaluaciones anuales previas en los que se determina el crecimiento individual y la productividad de la plantación. En este caso particular, la plantación clonal experimental requería el raleo genético correspondiente, por lo que además de las tres evaluaciones anuales, se realizó una evaluación adicional a los 42 meses, pocos días antes de la operación del raleo, donde se evaluó las siguientes variables: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, altura comercial, volumen total, forma y calidad del fuste (categorías: recto, poco sinuosos, muy sinuoso, torcedura basal, bifurcación, inclinación, enfermo, con plagas y quebrado), calidad de copa (copa simétrica, copa circular y sin copa) y estrato (dominante, codominante y suprimido).

En base a las variables mencionadas y considerando que todos los tratamientos se distribuyen de forma aleatoria en pares de árboles (pareja de árboles vecinos del mismo clon), se eligieron y marcaron en campo los árboles de dos categorías de calidad que permitió definir exactamente cuál de los árboles del mismo clon sería finalmente raleado (G). Para escoger el árbol G de cada parcela experimental, se designó a qué categoría de calidad correspondía: sí pertenecían a la categoría I (cuando ambos árboles vecinos del mismo clon son buenos tanto en diámetro y forma), en este caso de todas maneras se marcaba y raleaba al menos uno de ellos, mientras que sí pertenecía a la Categoría II (al menos uno de los árboles vecinos del mismo clon es bueno en diámetro y forma) se procedía a marcar y ralear al árbol defectuoso.

5. Selección de tratamientos y material de estudio

Para elegir los clones (tratamientos) motivo de la caracterización de la madera del presente estudio, se realizó una doble selección; primeramente, en base a la selección de los 15 mejores clones en crecimiento diamétrico, altura y volumen, luego de este grupo se eligieron los 10 mejores tratamientos que tuvieran los mejores crecimientos individuales, productividad y formas de fuste, además de garantizar que estén presentes (repetidos completamente) en las cinco parcelas experimentales, para la discriminación se usó los registros obtenidos a los 36 y 42 meses. Dentro de la población total de los 11 tratamientos elegidos (10 clones y 1 testigo) en cada parcela experimental, se procedió a elegir las trozas basales propiamente (material de estudio) con la mejor sanidad y forma (menos defectuosa), es decir, se seleccionaron un total de 55 árboles con igual número de trozas basales sin defectos, cuya ubicación se puede ver en el Anexo 1.

6. Equipos y materiales

- Árboles de bolaina blanca plantados y producidos previamente por propagación vegetativa (clones).
- Árboles de bolaina blanca plantados y producidos previamente por propagación botánica (semilla selecta).
- Motosierra Sthill 260 cc
- GPS Garmin
- Equipo de tensiómetro digital (marco aluminio, vernier y faja de sujeción velcro) y plantilla metálica móvil con tres perforaciones alineadas.
- Cinta diamétrica
- Cinta métrica (3 y 20 m)
- Hipsómetro Sunnto
- Clinómetro Sunnto
- Brújula Sunnto
- Cámara fotográfica
- Libreta de campo

- Formatos previamente elaborados para registro de data en campo
- Balanza gramera
- Cera líquida (parafina)
- Pintura spray
- Plumón indeleble (marcador anti agua)
- Prensa universal y accesorios “Tinius Olsen” capacidad 60 000 lb
- Hornos eléctricos “Mettler” de 103 ± 2 °C
- Vernier digital “Mitutoyo” de precisión 0,01 mm
- Balanza digital “Adam” precisión 0,01 g
- Desecadores de laboratorio con silicagel
- Lápices de Cera
- Lupa 10x

7. Fase de campo

7.1 Caracterización de los árboles en pie seleccionados

Se ubicaron, evaluaron y marcaron todos los árboles destinados para el raleo, dentro de los cuales se encontraban el grupo de los 11 árboles elegidos por cada parcela experimental destinados para esta investigación. Las medidas registradas en cuanto a DAP, altura comercial, altura total y calidad de fuste se muestran en Anexo 2. Los criterios y variables consideradas en la caracterización de los árboles en pie se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Variables consideradas en la caracterización de los árboles de bolaina blanca para su raleo y determinación de las propiedades físico-mecánicas

Aletas	Fuste	Copa	Otras características
- Altura de aletas	- Forma y curvatura	- Diámetro de copa	- N° de Ramas con
- Orientación de aleta mayor	- Inclinación de fuste y orientación	- Forma de copa	diámetro de 2” a 3”
- Tipo de aleta	- Forma sección		- Estrato vertical
	- Espesor de corteza		- Estado sanitario
	- Proporción de nudos		- Tensiones de crecimiento
	- Vigor		

7.2 Medición de las tensiones de crecimiento en los árboles en pie

Las tensiones de crecimiento fueron medidas indirectamente utilizando el método CIRAD-Forêt (Fournier *et al.*, 1994), mediante el cual se registra en milímetros el *Indicador de Tensiones de Crecimiento* (GSI), es un procedimiento que se inició instalando el “equipo de tensiómetro digital” sobre el fuste del árbol, para ello previamente se extrajo 20 cm de ancho de corteza de la porción perimétrica que se ubicó sobre el límite superior DAP (1,3 m) del árbol en pie, y sobre esta superficie descortezada (pelada) se marcaron los cuatro puntos cardinales (N, S, E y O), con ayuda de una brújula y marcador indeleble, luego, progresivamente en cada punto cardinal se ubicó la *plantilla metálica movable* con tres perforaciones alineadas longitudinalmente (Figura 1, Anexo 3) y a la cual se le colocó dos clavos de sujeción temporal, profundizados hasta 10 mm, tanto en sus perforaciones superior=1 e inferior=3, y se realizó una marca (señal) con plumón indeleble, en la perforación media=2 (punto medio entre los clavos), como se indica en la Figura 2, Anexo 3; el clavo 1 se usó para colgar el marco metálico del tensiómetro digital y el clavo 3 para mantener el contacto con la extensión sensible del vernier (Figura 3, Anexo 3); finalmente, todo el equipo de tensiómetro digital fue fijado al fuste con la faja de sujeción Velcro.

Una vez culminada la instalación del equipo, se procedió a realizar un orificio de 5 mm (5 vueltas), con ayuda de berbiquí, el punto para penetración fue en la misma marca del punto 2, esta acción permitió que el berbiquí ingrese al tronco cortando las fibras de forma longitudinal y permitiendo, a su vez, liberar las tensiones longitudinales periféricas del fuste, como consecuencia de ello, ambos clavos fueron separando milimétricamente, en tanto este desplazamiento fue registrado por el vernier del tensiómetro en forma automática y en tiempo real, la distancia desplazada correspondió al *Indicador de Tensiones de Crecimiento* (GSI). Una vez concluido el procedimiento anterior, se sacaron ambos clavos y desinstaló el equipo, para luego pasar al siguiente punto cardinal, instalar nuevamente el equipo, leer y registrar el GSI, bajo el mismo procedimiento explicado.

7.3 Marcado, codificación y colección del material de estudio (trozas basales)

Los 55 árboles seleccionados para raleo genético (G) fueron marcados con las siglas de las cuatro orientaciones cardinales (N, S, E y O), estas marcas se realizaron sobre la corteza y a una altura de 30 cm por encima de la base del árbol (o por encima de las aletas cuando estas eran muy alargadas), es decir, respetando el sector en el cual se haría el futuro corte con motosierra; luego de efectuado el corte por el raleo propiamente dicho, se limpió la cara

inferior de la troza basal y para garantizar la posición exacta de cada sigla cardinal, estas fueron trasladadas inmediatamente sobre dicha cara. Las trozas basales tuvieron una longitud de 1,5 m. Adicionalmente, para determinar la madera de reacción se colectaron pequeñas rodajas basales de 5 cm de espesor y así determinar la excentricidad de la medula en una fase posterior (laboratorio); finalmente, ambas muestras fueron codificadas con un número serial en la parte central de ambas caras, luego selladas con parafina y acopiadas bajo sombra antes de su traslado (Anexo 4). La codificación serial de las trozas correspondió al siguiente orden de registro: Número de parcela, código del tratamiento y orientación. Las trozas fueron trasladadas al Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera (CITE madera, ciudad de Lima) para la habilitación de las probetas. Los detalles dimensionales de las trozas seleccionadas se detallan en el Anexo 5.

8. Fase de gabinete

8.1 Habilitación de probetas

Las probetas para propiedades físicas y mecánicas fueron preparadas en las dimensiones correspondientes como lo indican Normas Técnicas Peruanas (NTP). Las probetas para ensayar las propiedades físicas tuvieron la dimensión de 2,5 cm x 2,5 cm x 10 cm, para compresión paralela de 2,5 cm x 2,5 cm x 10 cm y para flexión estática de 2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm (Anexo 6). Dichas probetas fueron debidamente orientadas al N, S, E, O, tal como lo indicaban las marcas previamente descritas en cada troza basal. La distribución, cortes y dimensionamientos, tanto de las trozas, como de las probetas se muestran en la Figura 3. En cuanto a la distribución del número de probetas por cada troza basal y parcela experimental son mostradas en la Tabla 8.

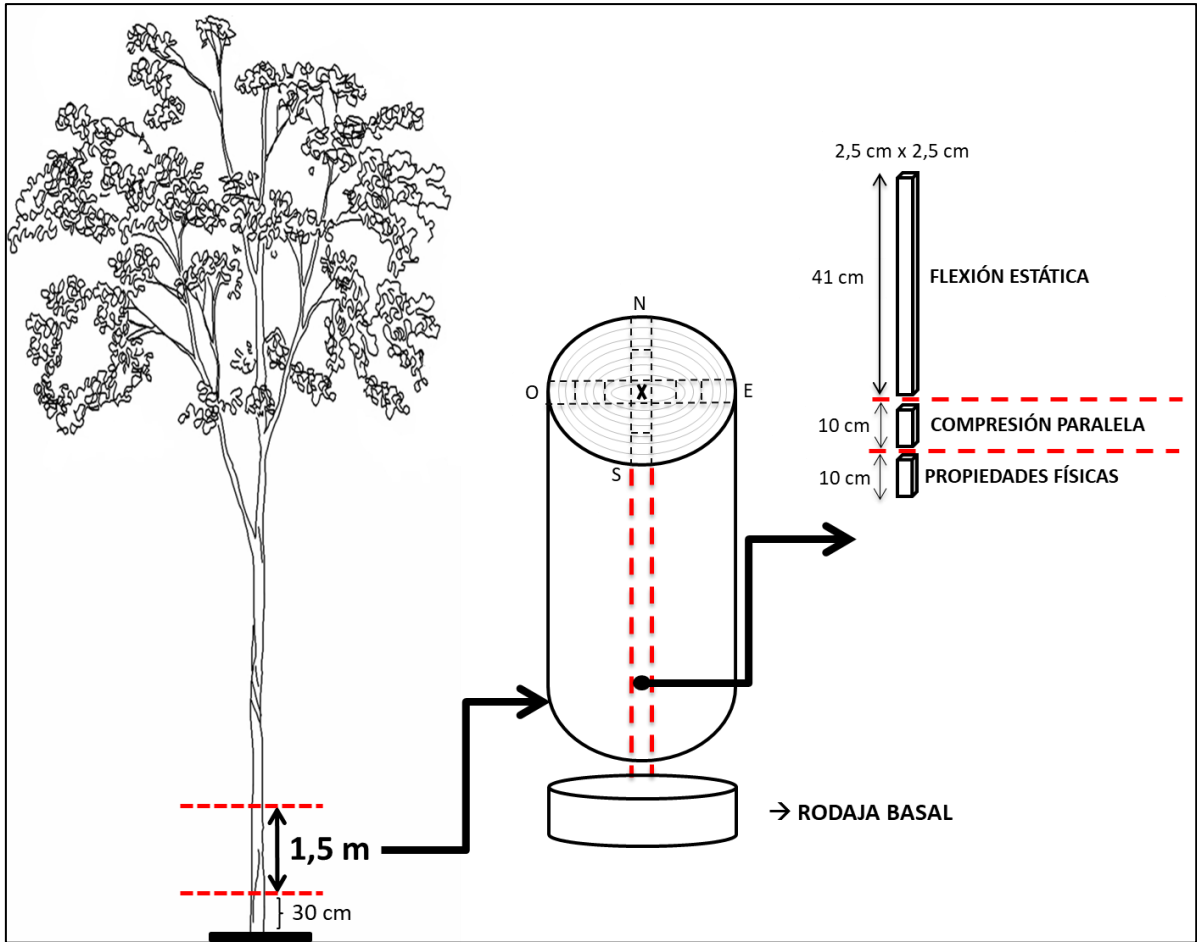


Figura 3: Obtención y distribución de probetas en bolaina blanca de 3,5 años para determinar las propiedades fisico-mecánicas

Tabla 8: Distribución de probetas por tratamientos y parcela experimental para la determinación de las propiedades físico-mecánicas

Tipo de ensayo	Bloques (parcela experimental)	Tratamientos											Número total probetas (N°)
		1.11	2.1	4.2	5.13	7.1	9.11	9.16	9.23	9.46	10.11	Testigo	
Propiedades físicas	I	6	3	1	3	3	5	4	6	2	8	6	47
	II	5	6	4	4	7	7	5	6	3	5	3	55
	III	3	5	4	5	4	2	6	4	3	6	3	45
	IV	5	7	8	5	6	5	6	7	5	6	6	66
	V	4	7	6	5	6	7	5	8	6	5	4	63
Flexión estática	I	6	3	1	3	3	5	4	6	2	8	6	47
	II	5	6	4	4	7	7	5	6	3	5	3	55
	III	3	5	4	5	4	2	6	4	3	6	3	45
	IV	5	7	8	5	6	5	6	7	5	6	6	66
	V	4	7	6	5	6	7	5	8	6	5	4	63
Compresión paralela	I	8	5	6	6	7	8	7	7	6	9	8	77
	II	6	6	6	6	7	7	5	6	4	5	4	62
	III	4	7	4	7	4	6	8	6	5	7	4	62
	IV	5	8	8	6	7	5	8	8	7	6	7	75
	V	4	7	6	6	6	6	5	7	6	4	4	61
Número total de probetas (N°)		73	89	76	75	83	84	85	96	66	91	71	889

8.2 Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la madera

Se realizaron los ensayos de propiedades físicas y mecánicas en la madera, se realizaron de acuerdo a los métodos indicados en las (Normas Técnicas Peruanas-NTP), las cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Normas empleadas para determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera

Propiedades físicas	Normas
Método para determinar el contenido de humedad	NTP 251.010
Método para determinar la densidad	NTP 251.011
Método para determinar la contracción	NTP 251.012
Propiedades mecánicas	Normas
Método de determinación de compresión paralela al grano	NTP 251 014
Método de ensayo de flexión estática	NTP 251 017

8.3 Determinación de la excentricidad de la médula en árboles.

Las rodajas de 5 cm de espesor fueron obtenidas del extremo inferior de las trozas basales de bolaina blanca y se usaron para determinar la excentricidad de su médula, para ello se ubicó el centro geométrico de cada disco y se midió la distancia de la médula con el centro del mismo, la excentricidad de la médula (EM) fue determinada conforme a la ecuación:

$$EM = DM/dm * 100$$

EM= excentricidad de la médula (%)

DM= distancia entre el centro geométrico y la posición real de la médula (mm)

dm= diámetro medio del disco (mm)

9. Procesamiento de datos

En la primera etapa del procesamiento, se determinaron los valores descriptivos: promedios y los coeficientes de variación para las propiedades físicas: densidades, contracciones y coeficiente de anisotropía, y las propiedades mecánicas: flexión estática y compresión paralela, por tratamientos (códigos clonales y testigo) y por parcelas experimentales. Asimismo se hizo lo mismo para las tensiones de crecimiento y la excentricidad de la médula, para lo cual se utilizó el software Microsoft Excel.

En la segunda etapa, correspondiente al análisis estadístico, se realizaron pruebas paramétricas y no paramétricas, debido a que algunas propiedades no cumplen con principios de homocedasticidad y normalidad. En las pruebas paramétricas se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado a dos factores para probar la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y parcelas experimentales para las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Se utilizó la prueba Shapiro-Wilk para la validación de la prueba estadística ANOVA, es decir para verificar la normalidad y la homogeneidad de varianzas. Asimismo, se utilizó la prueba Tukey para determinar las diferencias entre medias. Mientras que para las pruebas no paramétricas se usó el método Kruskal-Wallis que compara las medianas de los valores, para lo cual se utilizó el software R Studio.

Adicionalmente, se realizó el análisis regresión y correlación por parcela entre las variables de densidad básica (variable independiente) y las propiedades físicas y mecánicas (variables dependientes), obteniendo los coeficientes de correlación y determinación, y sus respectivas ecuaciones, para lo cual se utilizó el software IBM SPSS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Tensiones de crecimiento de los árboles en pie

La Tabla 10 proporciona los valores promedios de las tensiones de crecimiento expresados como *Indicadores de tensiones de crecimiento* (GSI) por tratamientos (códigos clonales y testigo) y parcelas experimentales. Se observa que el valor promedio de los clones es de 0,077 mm (77 μ m) mientras que del testigo es de 0,072 mm (72 μ m), evidenciándose mayores tensiones de crecimiento en los clones respecto al testigo, esto puede deberse a que los clones son más proclives a mantener características deseables e indeseables del árbol progenitor como las mayores tensiones de crecimiento, característica no visible en una evaluación fenotípica, mientras que el testigo es un nuevo individuo que presenta características diferentes, considerando que para ambos casos el efecto del ambiente también influye.

Las tensiones de crecimiento promedio de los clones son similares al valor promedio (0,077 mm) encontrado en clones de *Eucalyptus* de cuatro años (Muneri *et al.*, 2000) e inferior a otros estudios de clones de *Eucalyptus* para tres, seis y nueve años donde se obtuvieron valores medios de 0,084 mm, 0,090 y 0,111 mm, respectivamente (Braz, 2014; Trugilho, 2005; Beltrame *et al.*, 2012). Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la edad, lugar de siembra e incluso la especie es diferente, además de otros factores como luminosidad del sitio de plantación, la incidencia del viento, la inclinación del fuste y orientación del grano; entre otros, que estarían asociados con la variación de las tensiones de crecimiento (Braz, 2014).

Tabla 10: Valores promedios del Indicador de Tensiones de Crecimiento – GSI (mm) de los tratamientos (códigos clonales y testigo) de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Tratamiento	Tensiones crecimiento – GSI (mm)						
	Parcela experimental					Promedio	CV %
	I	II	III	IV	V		
<i>1.11</i>	0,069	0,082	0,083	0,08	0,07	0,077	8,8
<i>10.11</i>	0,074	0,092	0,071	0,088	0,076	0,08	11,5
<i>2.1</i>	0,057	0,08	0,089	0,078	0,08	0,077	15,44
<i>4.2</i>	0,06	0,072	0,069	0,089	0,08	0,074	14,89
<i>5.13</i>	0,068	0,068	0,068	0,064	0,063	0,066	3,76
<i>7.1</i>	0,091	0,084	0,065	0,073	0,077	0,078	12,82
<i>9.11</i>	0,073	0,073	0,07	0,069	0,091	0,075	11,98
<i>9.16</i>	0,065	0,089	0,076	0,074	0,067	0,074	12,76
<i>9.23</i>	0,079	0,076	0,076	0,094	0,088	0,083	9,74
<i>9.46</i>	0,077	0,081	0,08	0,092	0,076	0,081	7,85
<i>Testigo</i>	0,070	0,065	0,063	0,069	0,094	0,072	17,33
Promedio (Códigos clonales)	0,071	0,080	0,075	0,080	0,077	0,077	-
CV %	13,85	9,51	10,09	12,83	11,33	-	-
Promedio (Códigos clonales y testigo)	0,071	0,078	0,073	0,079	0,078	0,076	-
CV %	13,17	10,78	10,83	13,03	12,44	-	-

Asimismo, según el ANVA (Anexo 8) se verifica que existen diferencias significativas entre las parcelas experimentales*orientación, donde las parcelas *II* y *V* son de pendientes elevadas (más accidentadas) presentaron relación positiva con los valores más altos de tensiones de crecimiento; en ambos casos, coinciden con lo encontrado por Melo (2004) para cuatro clones de *Eucalyptus* de 24 meses plantados en terrenos planos e inclinados, que se confirmaría esta relación donde los árboles plantados en terrenos inclinados y bajo la acción del viento tienen mayores tensiones de crecimiento debido a la presencia de la madera de reacción.

De otra manera, la parcela *IV* de pendiente plana (poco accidentada) también presentó un alto valor de tensión de crecimiento, este último hecho podría ser explicado porque los árboles de la parcela *IV* presentaron en promedio las mayores dimensiones (crecimientos volumétricos, diámetros, alturas y con las copas más amplias), frente al resto de parcelas, rasgo que habría influenciado un mayor número de fuerzas de equilibrio por el propio tronco y por el mayor peso de sus copas, que serían más agitadas ante la acción del viento (Beltrame *et al.*, 2012). Respecto a los coeficientes de variación entre parcelas, se aprecia que los valores oscilan entre 10% al 15%, correspondiente a datos regularmente homogéneos según la clasificación realizada por Rubio (2002) (Anexo 10).

Por otra parte, aunque el efecto del código clonal no fue significativo, se podría clasificar de forma general en tres grupos en base a su promedio como se aprecia en la Tabla 11.

Tabla 11: Clasificación de los tratamientos (códigos clonales y testigo) según valores promedios del Indicador de Tensiones de Crecimiento – GSI (mm)

Clasificación	Tratamientos	Promedio GSI (mm)
Baja	5.13	0,066
Media	1.11, 2.1, 4.2, 7.1, 9.11, 9.16 y Testigo	0,075
Alta	10.11, 9.23 y 9.46	0,081

En base a lo anterior se desprende que el código clonal 5.13 presentó baja tensión de crecimiento y bajo coeficiente de variación (3,76%), lo cual indica que fue el menos influenciado por las condiciones de las parcelas experimentales. Mientras que los códigos clonales 4.2, 2.1 y el Testigo son los que presentaron valores medios de tensiones de crecimiento pero mayores valores de coeficiente de variación (14,89%, 15,44% y 17,33% respectivamente), esto indicaría que las tensiones de crecimiento se verían influenciados por las características del terreno en el cual los árboles han sido instalados, esto deja de manifiesto el importante papel del ambiente y las practicas silviculturales en la expresión de las características de los clones. Asimismo, es importante tomar en cuenta que las tensiones de crecimiento conllevan a la aparición de rajaduras y deformaciones en la madera, además que es una característica heredable según lo corroborado por (Trugilho, 2005) en un estudio sobre las tensiones de crecimiento de once clones de *Eucalyptus* de 6 años de edad, donde obtuvo un alto valor de heredabilidad para las tensiones de crecimiento (94,3%), lo que indicaría el alto control genético de esa característica.

2. Excentricidad de la médula de los clones seleccionados

La Tabla 12 presenta los valores promedios de la excentricidad de la médula (EM), característica de la madera de reacción, que se registró por tratamientos (códigos clonales y testigo) y parcelas experimentales, dicha característica fue considerada como una evaluación adicional a los objetivos de la presente investigación, con la finalidad de relacionar estos datos con las tensiones de crecimiento.

Se aprecia en la tabla en mención que el valor promedio para los clones es de 10,38 %, mientras que el valor promedio del testigo es 4,6 %. En este sentido, la mayor excentricidad de la médula que presentan los clones respecto al testigo es debido a la mayor tensión de crecimiento promedio de los clones, lo cual se origina por la tendencia al arqueamiento o

inclinación del fuste, la reorientación de copas causada por competencia de los árboles en relación a los vecinos o la incidencia de los vientos (Javier, 2010).

Estudios similares arrojaron resultados muy diversos; así, Ferreira (2007), al evaluar clones de *Eucalyptus* de dos años de edad en distintas pendientes (plano, inclinación leve e inclinación pronunciada), encontró un valor promedio de EM 3,71%, mientras que Flórez *et al.*, (2014) en *Tectona grandis* de 13 años de edad, reportó un valor medio de EM 9%. El valor medio de EM encontrado en la plantación de clones de bolaina blanca se asemeja a la plantación de teca de mayor edad, al igual que en las tensiones de crecimiento, esto se debe a que la excentricidad de la médula depende de distintos factores como la especie, el material genético y las condiciones de crecimiento como suelo, pendiente, orientación, exposición al sol, entre otros, que son características que regulan e influyen directamente sobre el crecimiento de los árboles, asimismo la EM es producto resultante de las tensiones de crecimiento (Flórez, 2012).

Tabla 12: Valores promedios de la excentricidad de la médula (%) de los tratamientos (códigos clonales y testigo) de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Tratamiento	Excentricidad de la médula (%)						
	Parcela experimental					Promedio	CV %
	I	II	III	IV	V		
<i>1.11</i>	4,2	2,3	9,4	9	17,2	8,4	68,83
<i>10.11</i>	6	16,7	5,9	5,2	11,5	9,1	54,76
<i>2.1</i>	17,7	16,4	2,2	3,5	16,5	11,3	68,5
<i>4.2</i>	15,9	11,6	11,2	13,6	20,7	14,6	26,55
<i>5.13</i>	18,8	7,4	6,7	13,7	14,2	12,2	41,8
<i>7.1</i>	8,6	8,4	13,3	4,8	23,5	11,7	61,69
<i>9.11</i>	10,5	12,8	13,4	28,3	8,2	14,6	53,86
<i>9.16</i>	0,6	6,2	8,2	14,2	4,2	6,7	75,21
<i>9.23</i>	1,8	4,5	14,6	4,1	3,4	5,7	89,31
<i>9.46</i>	8	18	10,1	7,8	3,3	9,5	56,77
<i>Testigo</i>	5,5	3,6	5,6	5,4	2,7	4,6	29,77
Promedio (Códigos clonales)	9,21	10,43	9,5	10,42	12,27	10,38	59,728
CV %	70,18	52,73	40,62	72,13	59,57	-	
Promedio (Códigos clonales y testigo)	8,9	9,8	9,2	10	11,4	9,80	-
CV %	70,26	57,15	42,02	73,15	65,89	-	-

Por otra parte, la excentricidad de la médula (EM) se clasificó en forma general en tres grupos en base a su promedio como se aprecia en la Tabla 13.

Tabla 13: Clasificación de los tratamientos (códigos clonales y testigo) según valores promedios de la excentricidad de la médula

Clasificación	Tratamientos	Excentricidad de la médula (%)
Baja	<i>Testigo</i>	4,6
Media	9.23, 9.16, 1.11, 10.11 y 9.46	7,8
Alta	2.1, 7.1, 5.13, 4.2 y 9.11	12,9

Respecto a los coeficientes de variación, se aprecia que son mayores a 25%, que corresponde a datos muy heterogéneos según Rubio (2002); sin embargo, los códigos clonales 2.1, 1.11, 9.16 y 9.23 son los que presentan mayor coeficiente de variación que a su vez corresponden a un EM clasificado como medio-alto, lo que sugiere heterogeneidad de sus valores entre parcelas, indicando que la expresión de esta característica no solo está definida por el genotipo sino también por las condiciones ambientales y la silvicultura.

Por otro lado, se muestra la misma tendencia que en las tensiones de crecimiento, al presentar mayores valores en las parcelas II y V (más accidentados), así como en la parcela IV (menos accidentado), ubicándose la médula hacia el lado inferior de la pendiente del terreno para el primer caso y en dirección de la inclinación de la copa de los árboles para el segundo caso. En cuanto a los coeficientes de variación de las parcelas también corresponden a datos muy variables según Rubio (2002). Si bien, existe relación entre los promedios de parcelas experimentales tanto para las tensiones de crecimiento como médula excéntrica, con el análisis de correlación efectuado entre estas características (Anexo 9), se muestra que la correlación no es significativa ($r=-0,197$).

3. Propiedades físicas de la madera

En la Tabla 14 se muestran los valores promedio de los estadísticos descriptivos (promedio y coeficiente de variabilidad) para las siguientes propiedades físicas: densidad saturada, densidad seca al aire, densidad anhidra, densidad básica, contracción longitudinal, contracción radial, contracción tangencial, contracción volumétrica y coeficiente de anisotropía (T/R), para cada tratamiento (códigos clonales y testigo) como para cada parcela experimental (Tabla 15).

Se aprecia que el código clonal 9.23 y el *Testigo* presentaron los máximos valores de densidades de la madera (saturada, seca al aire, anhidra y básica), pero a su vez máximas contracciones volumétricas totales (contracciones tangenciales, radiales y longitudinales), respuestas que indicarían que ambos tratamientos vienen mostrando mayor presencia del

material leñoso en su estructura anatómica y posible mayor resistencia a la madera, pero aun no presentarían una buena aptitud para su transformación maderable porque sus elevados valores medios en sus contracciones volumétricas totales y coeficientes de anisotropía (T/R) podrían traer inconvenientes en el secado debido a que se formarían grietas, rajaduras y alabeos (Coronel, citado por Cobas y Monteoliva, 2018), adicionalmente, en el caso del testigo, no se descarta que la cercanía a la línea de borde pudo haber influenciado en alguna medida en su comportamiento; asimismo, el clon 5.13 se encuentra en la tercera posición de máximos valores de densidades de la madera y a su vez el menor valor medio de T/R, hecho que amerita el futuro monitoreo de sus propiedades mecánicas como material genético de interés para lograr madera de buena resistencia y estabilidad, del mismo modo y aunque los clones 2.1 y 1.11 tuvieron los menores valores en sus densidades, su elevada homogeneidad (menores valores de CV%) y las más bajas contracciones volumétricas totales, permitirían atribuirles destacados rasgos de estabilidad frente al resto de tratamientos.

Tabla 14: Valores promedios por tratamientos (códigos clonales y testigo) de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Tratam.	Estadísticos descriptivos	Densidad (g/cm ³)				Contracción Total (%)				
		Saturada *	Seca al aire**	Anhidra	Básica	Tang.	Radial	Long.	Volum.	T/R
1.11	Prom.	0,685	0,445	0,409	0,373	5,66	2,96	0,063	8,51	1,96
	CV (%)	6,51	8,45	8,58	8,09	8,50	17,51	11,23	8,10	15,08
10.11	Prom.	0,694	0,463	0,426	0,388	5,82	3,05	0,062	8,75	1,96
	CV (%)	7,54	9,93	9,87	9,74	15,14	15,27	15,52	10,26	22,50
2.1	Prom.	0,685	0,437	0,403	0,368	5,61	2,89	0,063	8,40	2,02
	CV (%)	4,52	6,80	6,89	6,57	12,64	20,39	13,69	8,49	20,55
4.2	Prom.	0,687	0,447	0,410	0,371	5,80	3,31	0,062	8,97	1,81
	CV (%)	10,18	11,56	12,41	12,10	16,10	22,46	14,70	12,45	20,53
5.13	Prom.	0,707	0,463	0,427	0,389	5,17	3,38	0,062	8,44	1,60
	CV (%)	6,48	7,73	8,47	6,96	15,09	20,02	15,51	9,35	24,21
7.1	Prom.	0,707	0,461	0,426	0,388	5,77	3,01	0,065	8,67	1,97
	CV (%)	8,43	8,86	9,57	8,92	10,47	18,49	10,62	10,65	18,48
9.11	Prom.	0,695	0,455	0,419	0,379	5,71	3,19	0,062	8,78	1,90
	CV (%)	6,58	10,64	10,76	10,46	19,59	21,66	13,75	8,77	29,16
9.16	Prom.	0,705	0,455	0,419	0,381	5,76	3,00	0,064	8,65	1,99
	CV (%)	6,93	8,12	8,12	8,42	16,05	21,17	11,71	9,65	23,02
9.23	Prom.	0,728	0,486	0,451	0,405	6,48	3,24	0,060	9,56	2,03
	CV (%)	7,17	8,65	9,12	8,69	12,79	13,55	12,50	9,98	17,69
9.46	Prom.	0,691	0,443	0,408	0,369	5,69	2,94	0,064	8,51	1,99
	CV (%)	6,94	7,92	8,66	8,35	15,80	15,89	17,04	9,73	21,82
Testigo	Prom.	0,762	0,500	0,460	0,413	6,80	3,09	0,062	9,73	2,21
	CV (%)	4,15	5,74	5,88	4,96	12,78	13,56	16,46	12,02	9,68

* 83,67 % de humedad; ** 15,10 % de humedad

La Tabla 15 muestra que las parcelas I y IV, ambas de condición plana y pH muy ácido (≤ 5), presentaron los máximos valores de densidades de la madera (saturada, seca al aire, anhidra

y básica), lo cual confirmaría el efecto de la calidad del sitio sobre el material genético, coincidente con lo mencionado por Zobel y Buijtenen (1989), además es preciso señalar que las características del suelo (pendiente, textura, disponibilidad de nutrientes) que diferencian a los sitios de plantación influyen en la densidad de la madera (Kiaei, 2012), al parecer, este primer acercamiento indicaría que el conjunto de clones y testigo de bolaina blanca lograrían adquirir sus mayores densidades en sitios planos (poco accidentados), contrario a lo encontrado por Ferreira (2007) quien determinó que clones de *Eucalyptus* de dos años presentaron las mayores densidades en las zonas con las mayores pendientes.

En el otro extremo, el grupo de parcelas con las mayores pendientes, de condición ascendente, *III=ondulada suave*, *V=ondulada fuerte* y *II=ladera*, respectivamente, muestra para la parcela *III* densidades de la madera bajas y más homogéneas (menores CV%) y favorablemente las mínimas contracciones volumétricas totales (contracción tangencial, radial y longitudinal), seguido por la parcela *V* aunque con bajos valores de densidades de la madera, pero favorablemente el de menor valor medio de T/R, y finalmente la parcela *II* donde el sitio es de mayor pendiente (más accidentado), se presentó intermedio valor de densidades, la máxima contracción volumétrica total y densidades más heterogéneas (mayores CV%), sobre este particular sitio, Monteiro *et al.*, (2010), confirma que árboles plantados en zonas de pendientes son susceptibles a la acción de vientos, tendiendo a formar madera de reacción; así como elevar su contracción volumétrica (Ferreira, 2007).

Tabla 15: Valores promedios por parcela de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Parcela expe.	Estadísticos descriptivos	Densidad (g/cm ³)				Contracción Total (%)				
		Saturada *	Seca al aire**	Anhidra	Básica	Tang.	Radial	Long.	Volum.	T/R
<i>I</i>	Prom.	0,702	0,469	0,429	0,388	6,00	3,10	0,060	8,97	1,99
	CV (%)	7,36	9,03	9,23	8,87	14,04	17,16	18,71	10,73	21,11
<i>II</i>	Prom.	0,715	0,463	0,427	0,388	5,95	3,25	0,067	9,08	1,89
	CV (%)	8,28	10,12	10,44	9,93	17,30	19,14	10,93	11,12	23,10
<i>III</i>	Prom.	0,695	0,437	0,404	0,368	5,76	2,93	0,058	8,57	2,01
	CV (%)	6,79	8,19	8,89	8,57	11,81	16,74	12,83	10,33	16,80
<i>IV</i>	Prom.	0,712	0,465	0,429	0,388	5,84	3,10	0,064	8,82	1,96
	CV (%)	7,57	9,64	10,31	9,65	18,35	20,58	11,31	11,38	24,73
<i>V</i>	Prom.	0,693	0,460	0,426	0,387	5,61	3,13	0,063	8,62	1,86
	CV (%)	7,32	8,46	8,90	8,19	16,02	19,77	9,59	10,59	21,17

* 83,67 % de humedad; ** 15.10 % de humedad

En la Tabla 16 se muestran los coeficientes de variación de las propiedades físicas (densidades y contracciones totales) entre tratamientos, parcelas experimentales y totales. Se puede apreciar que la densidad saturada presentó el menor coeficiente de variación total (7,54 %), indicando que los datos son homogéneos según la clasificación hecha por Rubio (2002), en contraste el coeficiente de anisotropía (T/R) mostró el mayor valor (21,70%), lo que corresponde a datos variables. Cabe señalar que las densidades (seca al aire, anhidra y básica) presentaron valores totales de CV menores a 10%, confirmando que los datos son homogéneos, mientras que las contracciones (volumétrica, longitudinal, tangencial y radial) indicaron su naturaleza regularmente homogénea a regularmente heterogénea al oscilar los valores de coeficiente de variación de 10% a 20%.

Resultados similares fueron encontrados por Tuisima (2015) y Chavesta *et al.*, (2019), quienes realizaron investigaciones sobre las propiedades físicas en madera joven de bolaina blanca, reportando valores homogéneos ($CV \leq 10\%$) para las densidades y valores regularmente heterogéneos (entre 10% al 20% CV) para las contracciones totales. En general para todas las propiedades físicas los coeficientes de variación son ligeramente mayores entre parcelas experimentales respecto a tratamientos; sin embargo, para ambos el grado de variabilidad es el mismo.

Tabla 16: Coeficientes de variación entre tratamientos, parcelas y totales de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Propiedad física		Coeficiente de Variación (%)		
		Entre tratamientos	Entre parcelas experimentales	Totales
Densidad	Saturada	6,86	7,46	7,54
	Seca al aire	8,58	9,09	9,42
	Anhidra	8,94	9,55	9,81
	Básica	8,48	9,04	9,26
Contracción Total	Tangencial	14,09	15,50	15,84
	Radial	18,18	18,68	18,98
	Longitudinal	13,88	12,67	13,92
	Volumétrica	9,95	10,83	11,01
	Relación T/R	20,25	21,38	21,70

En relación al análisis de varianza (ANVA), la Tabla 17 muestra las propiedades físicas: densidades (saturada, seca al aire, anhidra y básica), contracciones (tangencial, radial y volumétrica) y coeficiente de anisotropía (T/R), en general se encontró diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre tratamientos y significativas ($p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$)

entre parcelas experimentales. Al respecto, Sotelo-Montes *et al.*, (2006) en un estudio de clones de la especie *Calycophyllum spruceanum* de 39 meses obtuvo diferencia significativa ($p < 0,05$) para densidad básica entre progenies mas no entre zonas de plantación. Mientras que Solórzano *et al.*, (2012) en un estudio de clones de la especie *Tectona grandis* de 4 años encontró diferencia significativa ($p < 0,01$) entre clones para contracción radial, el mismo nivel de significancia entre sitios para contracción volumétrica y significativa ($p < 0,05$) entre clones para la misma propiedad. En base a las comparaciones con otras investigaciones, se puede afirmar que la zona de plantación (sitio o parcela), así como los clones influyen de forma diferente a las propiedades físicas debido a que dependen del material genético y las características edáficas, climáticas y topográficas de las zonas de establecimiento de las plantaciones.

Tabla 17: Análisis estadístico de las propiedades físicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Propiedades físicas	Tratamiento	<i>p</i> -valor	Parcela experimental	<i>p</i> -valor
Densidad saturada	***	3,77E-11	*	0,02477
Densidad seca al aire	***	1,52E-12	***	2,08E-05
Densidad anhidra	***	4,43E-10	**	0,002944
Densidad básica	***	1,880e-09	**	0,002467
Contracción radial	***	0,0001675	*	0,0396906
Contracción tangencial	***	6,05E-14	*	0,0136
Contracción volumétrica	***	6,73E-13	***	7,91E-05
Relación T/R	***	5,37E-08	ns	0,1903366

p=nivel de significancia; ns=No significativo; * = Significativo a un $p < 0,05$; ** = Significativo a un $p < 0,01$; *** = Significativo a un $p < 0,001$

En las figuras 4, 5, 6 y 7, se muestran los promedios de las densidades (saturada, seca al aire, anhidra y básica) respectivamente, se aprecia que no hay una tendencia marcada en cuanto a la diferencia entre tratamientos y parcelas experimentales. Sin embargo, con la prueba Tukey (Anexo 11 al 14) se pudo hacer una mejor discriminación de los resultados, respecto a la densidad básica, indispensable para relacionarla posteriormente con las propiedades mecánicas, se aprecia altos valores en el código clonal 10.11 de la parcela IV, 5.13 de la parcela I, 7.1 de la parcela II, 9.16 de la parcela I, 9.23 de las parcelas II, IV y V y el Testigo de las parcelas I, II, IV y V; es importante recalcar que las parcelas I y IV son de condición plana (menos accidentadas) y las parcelas II y V de mayor pendiente (más accidentadas).

Por lo tanto dichos resultados serían explicados por una parte por la interacción de apropiada calidad de sitio y buen material genético seleccionado (clones) y semilla de calidad que en

suma brindan resultados positivos y por otra parte que en las parcelas experimentales de mayor pendiente se reportaron mayores tensiones de crecimiento lo que origina la formación de madera de reacción, evidenciándose además en la mayor excentricidad de la médula, hecho fue confirmado en un estudio de clones de *Eucalyptus* de dos años, donde para algunos clones se reportó mayor densidad básica en terrenos inclinados respecto a los planos y en madera de reacción respecto a madera normal (Ferreira, 2007).

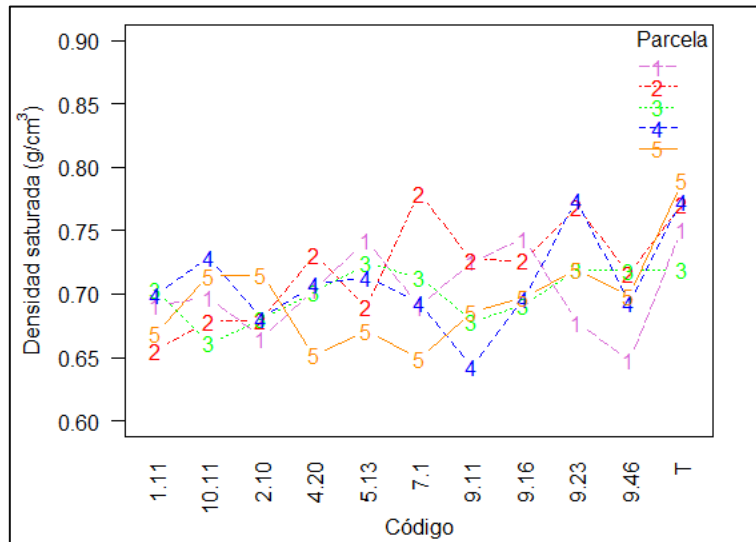


Figura 4: Variación de la densidad saturada por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

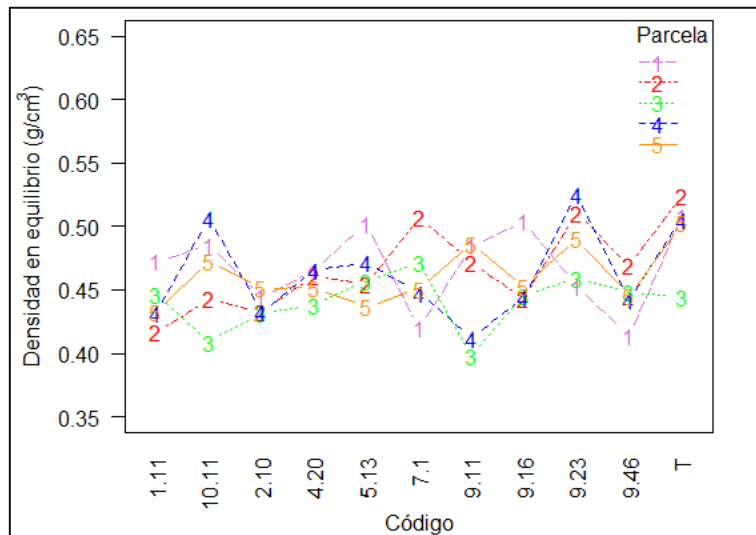


Figura 5: Variación de la densidad seca al aire por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

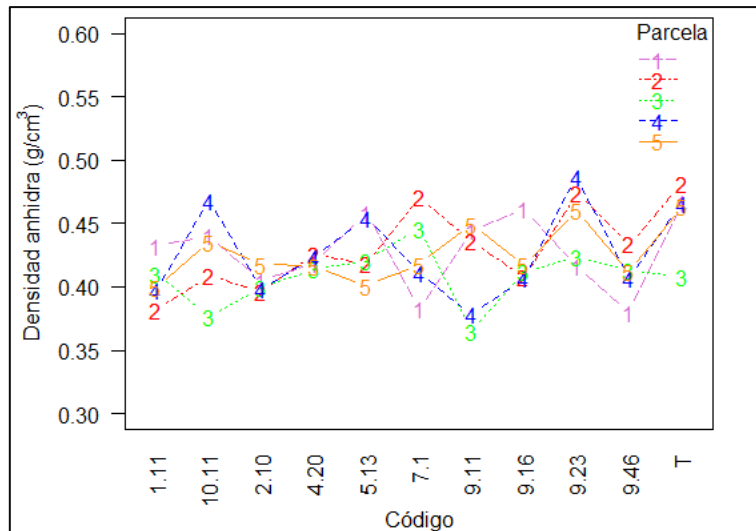


Figura 6: Variación de la densidad anhidra por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

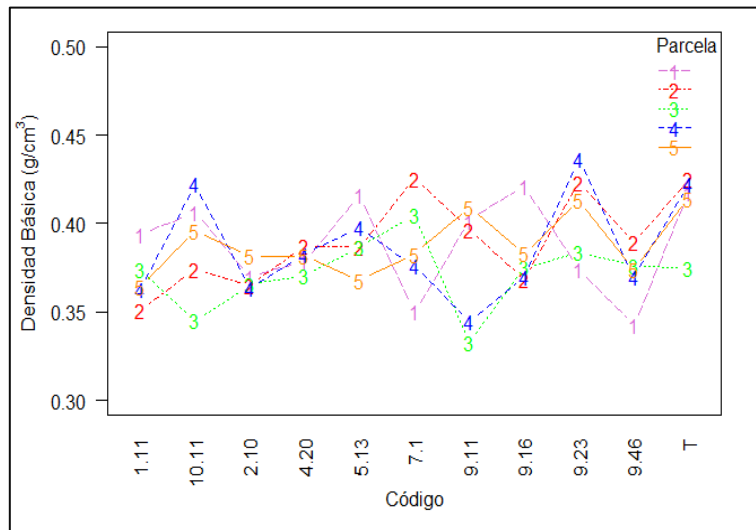


Figura 7: Variación de la densidad básica por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

En las figuras 8, 9, 10 y 11, se aprecian los promedios de las contracciones (radial, tangencial y volumétrica) y el coeficiente de anisotropía (T/R) respectivamente, se muestra que al igual que las densidades no hay una tendencia marcada por tratamientos y parcela experimental. En general, se tiene que los valores promedios de contracción tangencial resultaron mayores respecto a la contracción radial, lo cual cumple con lo indicado por Walker (2006).

Analizando el resultado de la prueba Tukey (Anexo 15 al 18), se desprende que los valores promedios más altos de contracción volumétrica (contracción radial, tangencial y longitudinal) corresponden a los códigos clonales 10.11 de la parcela IV, 5.13 de la parcela I, 7.1 de la parcela II, 9.16 de la parcela II, 9.23 de las parcelas I, II y IV y Testigo de la parcelas I, II, IV y V, algunos de los cuales a su vez presentaron altos valores de densidad

básica, lo que indicaría que a mayor densidad mayor contracción, en general, maderas con alta densidad presentan mayor contracción volumétrica debido a la mayor cantidad de agua de impregnación en la pared celular por unidad de volumen (Araújo *et al.*, 2016). Estos hechos concuerdan con un estudio de las propiedades físicas de la madera de clones de tres especies de *Eucalyptus* de once años, donde se obtuvo una relación positiva y directamente proporcional entre la densidad básica y la contracción volumétrica (Batista *et al.*, 2010). Por otra parte, sólo el clon 5.13 en todas las parcelas experimentales presentó valores de coeficiente de anisotropía menores a 2, lo que le atribuiría buena estabilidad dimensional respecto a los demás tratamientos.

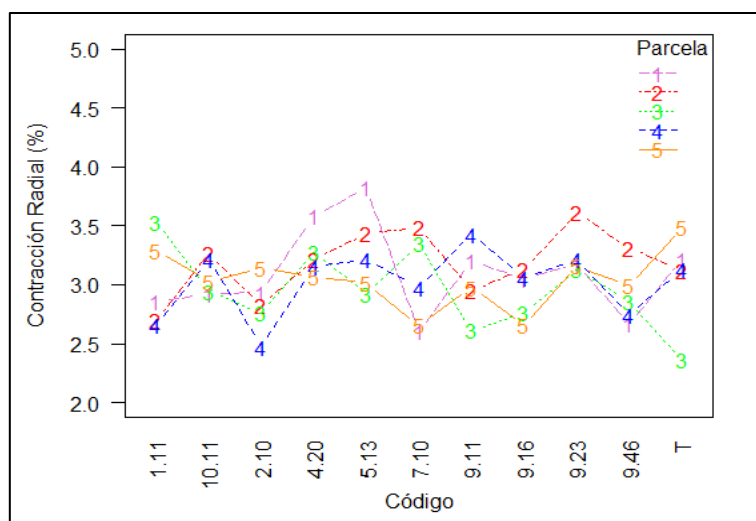


Figura 8: Variación de la contracción radial por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

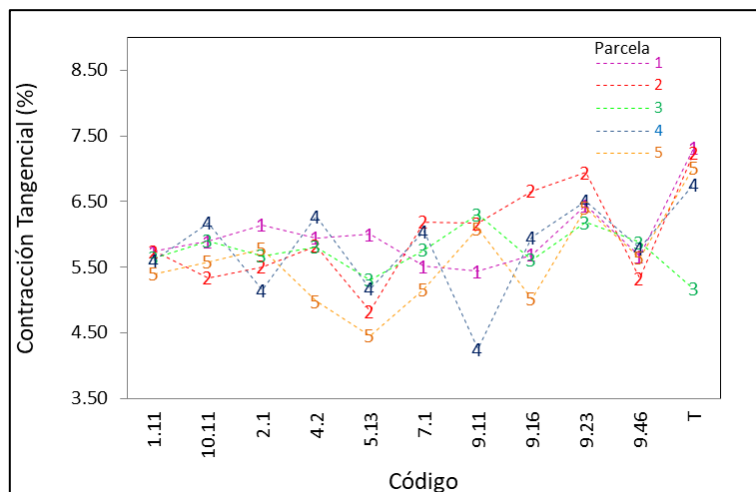


Figura 9: Variación de la contracción tangencial por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

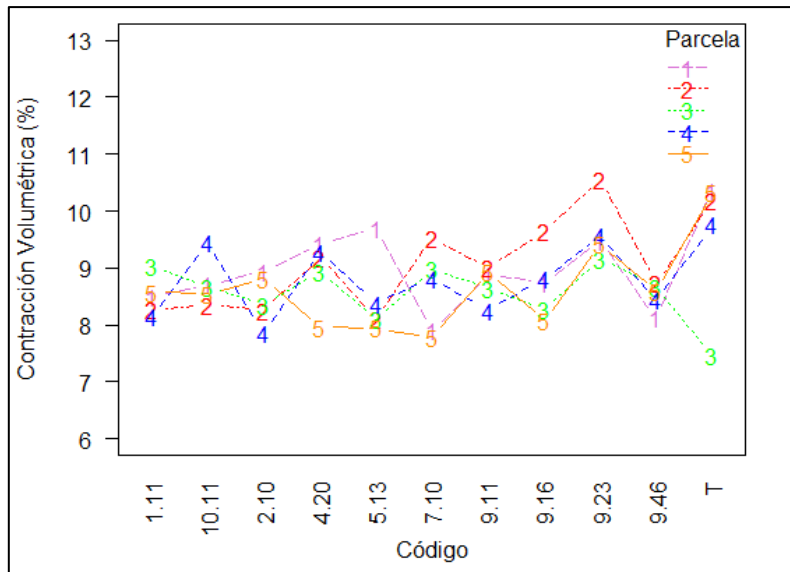


Figura 10: Variación de la contracción volumétrica por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

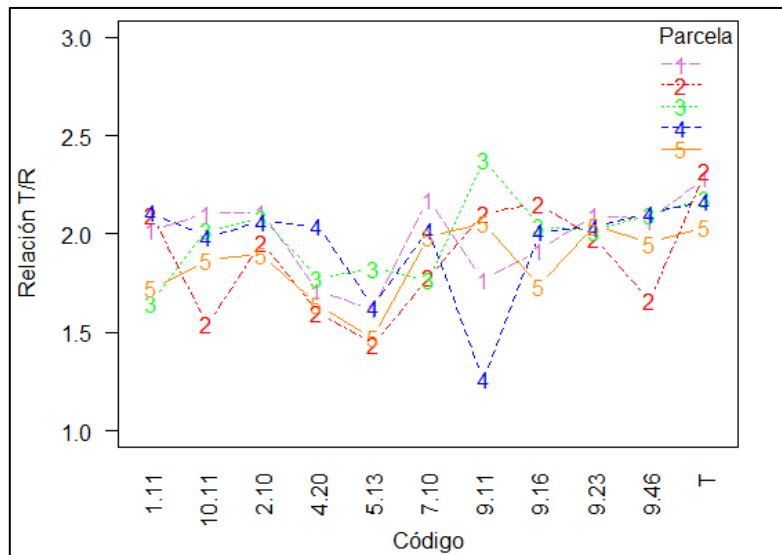


Figura 11: Variación del coeficiente de anisotropía (T/R) por tratamiento y parcela experimental de madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

3.1 Clasificación de las propiedades físicas de la madera de la especie

En la Tabla 18 se presentan los valores promedios (densidad básica, contracción volumétrica y coeficiente anisotrópico - T/R) de los códigos clonales y testigo, los que fueron analizados en base a la clasificación de maderas realizado por Aróstegui (1982) y Sibille (2006); por lo que, para los clones, la densidad básica ($0,38 \text{ g/cm}^3$) y la contracción volumétrica (8,72%) son calificadas de “Baja”. Mientras que el coeficiente de anisotropía (T/R) 1,92 es considerado como “Estable”. Por su parte para el Testigo, la densidad básica ($0,41 \text{ g/cm}^3$) es calificada de “Media”, la contracción volumétrica (9,73%) como “Baja” y el coeficiente de

anisotropía (T/R) 2,21 como “Estable”. Se aprecia que los valores promedios de densidad básica, contracción volumétrica y coeficiente de anisotropía (T/R) son superiores en el *Testigo* respecto a los *clones*, lo que evidencia mayor contenido de tejido leñoso pero menor estabilidad a los cambios dimensionales, sobre este hecho debemos añadir que el escaso número de probetas testigos frente al elevado número de probetas clonales, además de la cercanía de los testigos a la línea de borde, pudieron haber influenciado en favor del comportamiento testigo.

Se conoce que la densidad se ve influenciado por diversos factores, entre ellos la anatomía de la madera, ello fue evidenciado en un estudio respecto a la densidad con las características anatómicas de la madera de *Gmelina arbórea* de ocho a doce años, donde se reportó que el porcentaje de vasos, la longitud de las fibras y el diámetro del lumen tiene una relación negativa con la densidad, mientras que el espesor de la pared celular de las fibras presenta una relación positiva (Moya, 2005). Por su parte, Piccone (2019) para la misma especie reporta elementos vasculares de longitud corta, poros de diámetro tangencial medio y pocos numerosos, radios finos en ancho y pocos numerosos y fibras de longitud mediana, diámetro mediano y espesor de pared muy delgada. Por lo que, la baja densidad podría ser explicada por el espesor de la pared delgado de las fibras.

Tabla 18: Clasificación de algunas propiedades físicas, según el valor promedio, de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Propiedad física	Unidad	Valor promedio (Códigos clonales)	Valor Promedio (Testigo)	Criterios de clasificación	
				Aróstegui (1982)	Sibille (2006)
Densidad básica	g/cm ³	0,38	0,41	Baja / Media	Baja / Media
Contracción Volumétrica	%	8,72	9,73	Baja	Baja
Coefficiente de anisotropía (T/R)	-	1,92	2,21	-	Estable

3.2 Comparación de las propiedades físicas con otros estudios

La Figura 12 compara el promedio obtenido de densidad básica de los clones con otros estudios de la misma especie y para la zona basal. En general se observa que la densidad básica (DB) varía según la edad; sin embargo, resulta interesante que el valor promedio (DB) del estudio realizado por Weber y Sotelo-Montes (2008) en madera de bolaina blanca de 32 meses obtenida de 11 procedencias de la cuenca Aguaytía y establecidas en tres zonas de plantación (parte baja, media y alta de la cuenca), sea mayor respecto a los valores de

densidad básica reportados en los otros estudios. Por otra parte, se aprecia que la densidad básica promedio de madera de diez años obtenida de árboles establecidos en hileras al borde de un predio realizado por Cárdenas (2012) es menor a comparación de las demás. En la misma línea, Meneses *et al.*, (2015) en un estudio sobre el efecto de la edad y sitio en la densidad básica de un clon de *Eucalyptus urophylla* de cinco, seis, siete, ocho y nueve años encontró que hay un efecto significativo de la capacidad productiva del sitio, la edad y la interacción de esos factores; sin embargo, generalmente la densidad básica aumenta con la edad.

Del mismo modo, en la Figura 13 se comparan los valores promedios de las contracciones totales (radial, tangencial, volumétrica) y coeficiente anisotrópico (T/R) de los clones con las obtenidas por Tuisima (2015) en madera de bolaina blanca de ocho años y seis procedencias diferentes de la cuenca Aguaytía establecidos en huertos semilleros. En general se aprecia que las contracciones encontradas en el presente estudio (3,5 años) son menores a lo reportado por dicho autor (8 años), debido a que la madera de 8 años presenta mayor densidad y por lo tanto mayores contracciones. Según Basset, citado por França (2019), las maderas más densas al tener mayor concentración de células de paredes más gruesas tienden a absorber más agua por unidad de volumen y consecuentemente contraer más que aquellas de menor densidad.

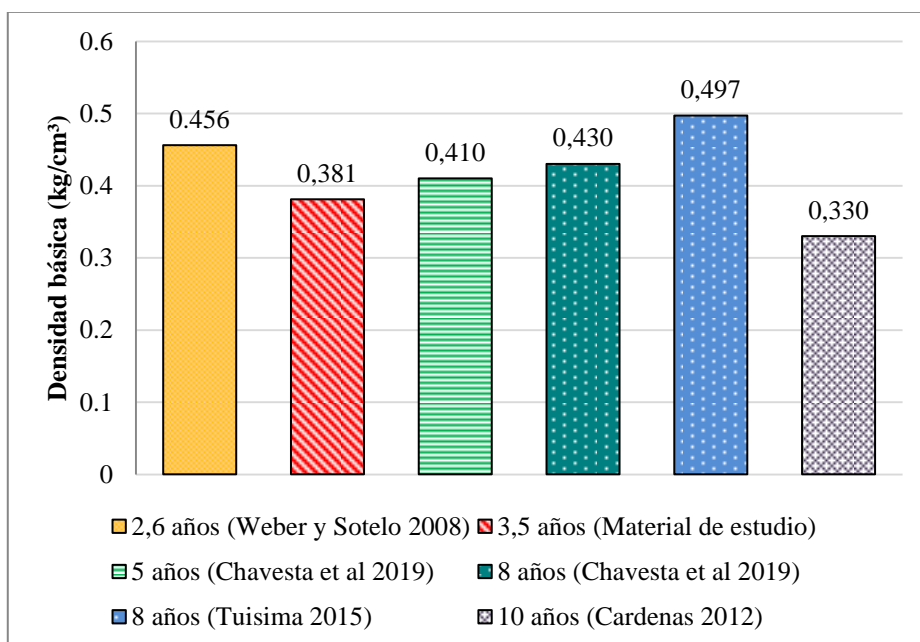


Figura 12: Análisis comparativo de la densidad básica de la zona basal de la madera obtenida en plantación clonal de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) comparado con diferentes autores

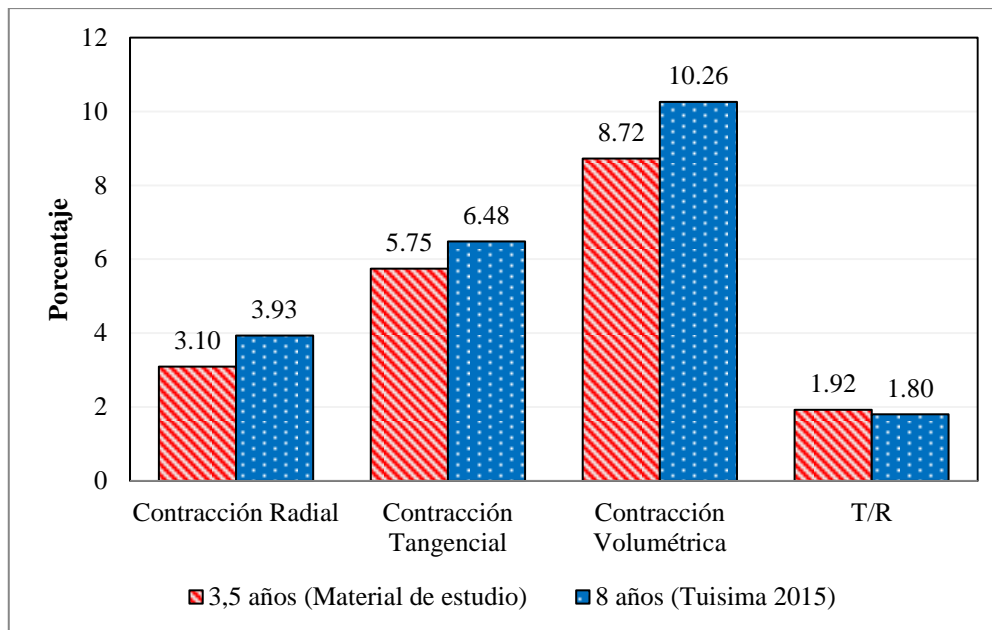


Figura 13: Análisis comparativo de las contracciones y coeficiente de anisotropía (T/R) de una plantación clonal de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) con otro estudio de la misma especie de ocho años

4. Propiedades mecánicas

En la Tabla 19 se muestran los valores promedio de los estadísticos descriptivos (promedio y coeficiente de variabilidad) para las siguientes propiedades mecánicas en condición saturada (>30% CH): flexión estática y compresión paralela, para cada tratamiento (códigos clonales y testigo) como para cada parcela experimental (Tabla 20).

La Tabla 19 muestra que los códigos clonales *10.11* y *9.23* presentaron los máximos valores de flexión estática (ELP, MOR y MOE) y sólo el primero obtuvo elevada homogeneidad (menores valores de CV%), al mismo tiempo el código *10.11* expuso el mayor valor de compresión paralela (ELP, RM y MOE), lo que evidenciaría la mayor resistencia mecánica de dichos códigos clonales respecto a los demás, por otro lado, si bien la literatura señala que existe una relación positiva entre la densidad y las propiedades mecánicas, sólo el código *9.23* confirmaría ese hecho al poseer a su vez el mayor valor de densidad. Mientras que el código *5.13* sólo destacó un alto valor en la resistencia máxima (RM) en compresión paralela pese a reportar alta densidad y estabilidad dimensional, lo que le atribuye características deseables para usos que requieran de esa propiedad. De forma contraria, el código *9.46* presentó los más bajos valores de flexión estática y compresión paralela que a su vez son heterogéneos (mayores valores de CV%), además coincidentemente este clon reportó bajos valores de densidad, lo que en suma refuerza la idea que la densidad se correlaciona directamente en la resistencia mecánica de la madera, lo cual fue confirmado por Lobão *et*

al., (2004) quien reportó en madera de *Eucalyptus* una fuerte influencia de la densidad con las propiedades mecánicas, en las que se encontraban la flexión estática y la compresión paralela a las fibras.

Tabla 19: Valores promedios por tratamientos (códigos clonales y testigo) de las propiedades mecánicas en condición saturada de la madera de clones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Tratam.	Estadísticos descriptivos	Flexión estática					Compresión paralela				
		ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (t/cm ²)	DB	CH (%)	ELP (Kg/cm ²)	RM (Kg/cm ²)	MOE (t/cm ²)	DB	CH (%)
1.11	Prom.	219,42	397,72	65,92	0,34	116	131,56	197,72	68,17	0,37	118
	CV (%)	15,01	20,99	14,70			14,92	14,68	20,58		
10.11	Prom.	233,97	418,58	68,40	0,36	105	138,00	194,82	77,74	0,38	115
	CV (%)	15,68	17,15	14,58			19,16	17,81	22,39		
2.1	Prom.	206,92	393,39	63,73	0,33	119	130,02	189,21	69,93	0,36	116
	CV (%)	16,65	24,21	15,40			14,72	14,40	19,34		
4.2	Prom.	202,84	390,50	63,20	0,34	122	123,66	175,01	66,72	0,36	124
	CV (%)	18,31	21,13	16,26			23,21	19,44	23,85		
5.13	Prom.	211,44	395,69	59,97	0,35	123	126,51	193,15	69,17	0,38	116
	CV (%)	20,27	22,17	14,11			17,87	17,83	20,58		
7.1	Prom.	225,26	418,47	61,67	0,36	107	130,76	185,95	69,40	0,38	118
	CV (%)	22,04	24,91	18,91			16,12	17,61	24,07		
9.11	Prom.	210,45	402,48	64,17	0,34	116	116,21	174,31	69,24	0,36	123
	CV (%)	21,71	26,45	24,94			17,74	20,17	23,33		
9.16	Prom.	215,66	391,93	63,35	0,34	121	126,26	182,20	73,94	0,37	116
	CV (%)	17,44	24,25	16,98			14,48	16,88	26,31		
9.23	Prom.	223,94	437,34	67,85	0,37	106	130,67	182,66	74,86	0,39	112
	CV (%)	18,53	21,39	19,83			18,83	18,27	20,81		
9.46	Prom.	183,55	360,63	58,44	0,33	133	118,38	164,06	65,98	0,36	117
	CV (%)	17,03	23,14	20,93			16,14	17,84	25,33		
Testigo	Prom.	210,01	399,22	63,43	0,36	108	104,70	152,37	61,14	0,39	112
	CV (%)	15,89	18,15	19,57			19,54	17,85	16,64		

La Tabla 20 muestra que las parcelas *II* y *V*, ambas con mayores pendientes (más accidentadas) y pH ácido (<7), presentaron los máximos valores de flexión estática (ELP, MOR y MOE) y los más homogéneos (menores CV%), lo cual confirmaría lo encontrado por Ferreira (2007) quien comprobó que clones de *Eucalyptus* de dos años presentaron mayores valores de módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR) en madera de reacción de zonas con pendiente pronunciada, de forma contraria las parcelas *I* y *IV* (menos accidentadas) mostraron bajos valores de flexión estática; sin embargo, la parcela *III* (*onda suave*) se distinguió al presentar la tercera posición de máximos valores pero elevada heterogeneidad (mayores valores de CV%), sin encontrarse una relación positiva entre la densidad y flexión estática.

Mientras tanto, la parcela *III* (*onda suave*) obtuvo el máximo valor de compresión paralela (ELP, RM y ELP) y medianamente homogéneo (menores CV%) a pesar de presentar bajo

valor de densidad, en contraste la parcela IV mostró el menor valor en esta propiedad. Asimismo se caracterizó por ser de baja densidad e inestable (mayor T/R), en general no existiría una relación directa entre la densidad y las propiedades mecánicas analizando entre parcelas experimentales, contrario a lo descrito por autores mencionados anteriormente.

Tabla 20: Valores promedios por parcelas de las propiedades mecánicas en condición saturada de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Parcela expe.	Estadísticos descriptivos	Flexión estática					Compresión paralela				
		ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (t/cm ²)	DB	CH (%)	ELP (Kg/cm ²)	RM (Kg/cm ²)	MOE (t/cm ²)	DB	CH (%)
I	Prom.	216,75	376,39	63,1	0,35	122	125,48	182,33	69,63	0,37	116
	CV (%)	21,6	24,14	19,93			22,72	19,39	24,09		
II	Prom.	223,94	422,97	63,76	0,35	105	123,31	183,15	66,14	0,37	124
	CV (%)	16,3	17,1	16,98			16,18	20,1	22,83		
III	Prom.	215,45	373,09	63	0,34	125	132,03	185,41	72,85	0,36	123
	CV (%)	18,08	23,67	15,59			14,89	17,21	23,84		
IV	Prom.	194,16	374,53	60,71	0,35	112	120,51	175,87	71,41	0,38	103
	CV (%)	19,5	23,19	19,26			17,28	19,3	22,33		
V	Prom.	222,7	470,68	69,36	0,35	114	127,46	181,68	69,38	0,37	124
	CV (%)	14,68	14,75	16,89			19,76	16,85	20,78		

En la Tabla 21 se aprecian los coeficientes de variación de las propiedades mecánicas (flexión estática y compresión paralela) entre tratamientos, entre parcelas experimentales y totales. Se puede ver que el MOE en flexión estática presentó el menor coeficiente de variación total (18,36%), lo que sugiere que los datos son regularmente variables (Rubio, 2002), en cambio el MOE en compresión paralela mostró el mayor valor (22,95%), lo que indica la presencia de datos variables en esta propiedad. Respecto a las demás propiedades, ELP en flexión estática, ELP en compresión paralela y RM en compresión paralela corresponden a datos regularmente variables (CV menor a 20%) y MOR en flexión estática a datos variables (CV mayor a 20%). Estos resultados comparados con otro estudio para las propiedades mecánicas de bolaina blanca de cuatro años realizado por Urbina (2017), indican que los coeficientes de variación obtenidos en esta investigación son mayores para flexión estática y menores para compresión paralela. Por otra parte, en general los coeficientes de variación son ligeramente mayores entre tratamientos para la flexión estática y entre parcelas para la compresión paralela, pero aun así se mantienen en el mismo grado de variabilidad.

Tabla 21: Coeficientes de variación entre tratamientos, parcelas y totales de las propiedades mecánicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Propiedad mecánica		Coeficiente de Variación (%)		
		Entre tratamientos	Entre parcelas experimentales	Totales
Flexión estática	ELP	18,05	18,03	18,90
	MOR	22,18	20,57	22,50
	MOE	17,84	17,73	18,36
Compresión paralela	ELP	17,52	18,17	18,68
	RM	17,52	18,57	18,65
	MOE	22,11	22,77	22,95

En la Tabla 22 se sintetiza los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas (flexión estática y compresión paralela); se tiene que para flexión estática hay diferencia significativa mediante prueba paramétrica ($p < 0,001$) y no paramétrica ($p < 0,05$) entre parcelas experimentales para ELP, MOR y MOE. Por el contrario, para compresión paralela hay diferencia significativa ($p < 0,001$) entre tratamientos para ELP, MOR y MOE, lo que sugiere que la selección del lugar de plantación es más importante para obtener resultados positivos en flexión estática y que hubo poca variación entre tratamientos, mientras que para compresión paralela es más valioso elegir el material genético (clones o testigo).

Tabla 22: Análisis estadístico de las propiedades mecánicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Propiedades físicas	Tratamientos	<i>p</i> -valor	Parcela experimental	<i>p</i> -valor	Prueba estadística
Flexión Estática	ELP	***	2,04E-05	***	1,53E-07 ANOVA
	MOR	Ns	0,176404	***	7,72E-13 ANOVA
	MOE	NS	0,053696	S	0,0005198 Kruskal-Wallis
Compresión Paralela	ELP	***	4,58E-10	***	0,0007175 ANOVA
	RM	***	1,66E-13	ns	0,1588 ANOVA
	MOE	***	3,21E-05	ns	0,08259 ANOVA

Paramétricas: *p*: nivel de significancia; ns=No significativo; * = Significativo a un $p < 0,05$;

** = Significativo a un $p < 0,01$; *** = Significativo a un $p < 0,001$

No Paramétricas: NS: No significativo ($p > 0,05$), S: Significativo ($p \leq 0,05$)

En las figuras 14, 15 y 16, se ilustran los promedios de las variables ELP, MOR y MOE de flexión estática en condición saturada. Puesto que existe mayor variabilidad entre parcelas experimentales, se desprende para MOE y MOR, que son las variables más importantes al indicar la rigidez y resistencia de la madera respectivamente, que las parcelas II y V presentaron mayores valores respecto a las parcelas I, III y IV. Por su parte la variable ELP,

que además presentó diferencia significativa entre tratamientos se aprecia que los códigos 10.11, 7.1 y 9.23 presentaron mayores valores, mientras que el código 9.46 el menor, lo cual corresponde a lo obtenido por la prueba Tukey (Anexo 19 al 21).

Como se reportó anteriormente, las parcelas II y V son las de mayor pendiente (más accidentados), las cuales se caracterizan por presentar mayores tensiones de crecimiento y en consecuencia madera de reacción con altos valores de resistencia mecánica, resultados similares fueron encontrados por Ferreira (2007) para clones de *Eucalyptus* de dos años, donde los mayores valores de MOE y MOR en flexión estática correspondieron a madera de reacción, si bien estos valores son los deseables, podría tener tendencia a rajaduras y deformaciones debido a las tensiones de crecimiento; sin embargo, estudios respecto a la relación entre las tensiones de crecimiento con las propiedades mecánicas, entre ellas la flexión estática, indican que no están correlacionadas significativamente, pese a ello es preciso implementar nuevas prácticas silviculturas direccionadas a la producción de madera con resistencia mecánica elevada pero de baja ocurrencia de tensiones de crecimiento (Lima *et al.*, 2004; Braz, 2014).

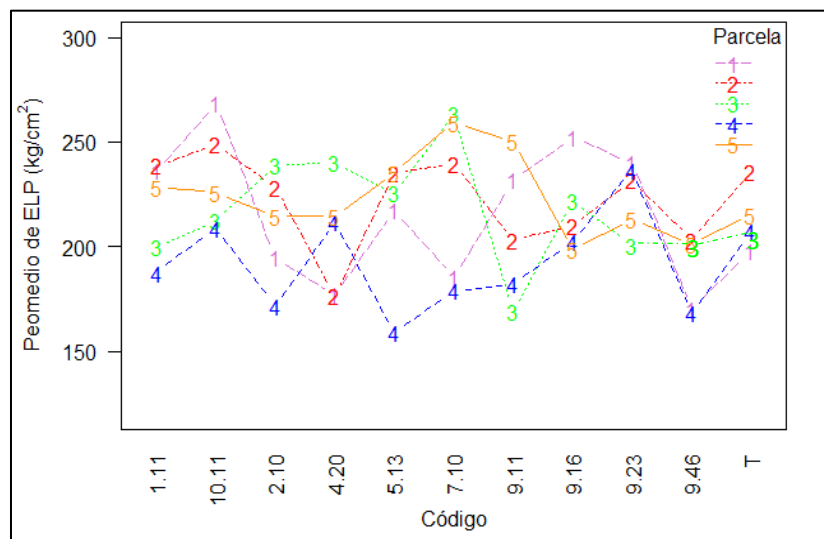


Figura 14: Variación del ELP en flexión estática por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

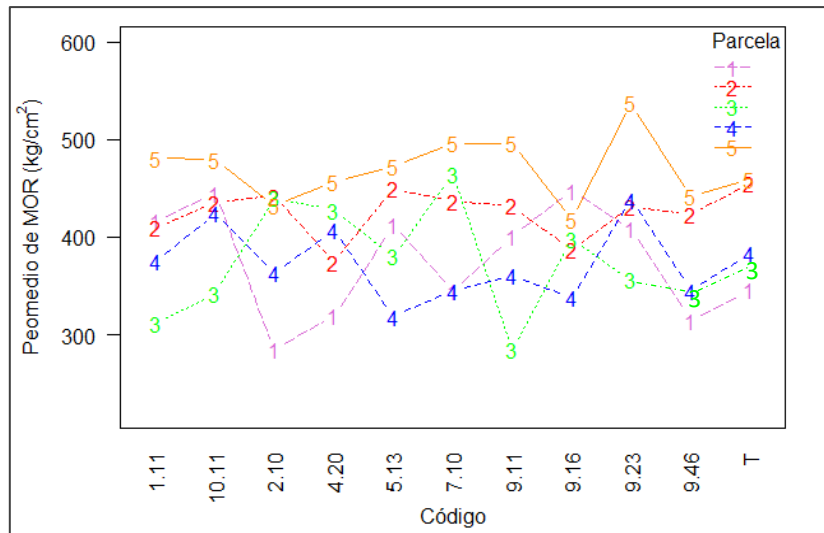


Figura 15: Variación del MOR en flexión estática por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

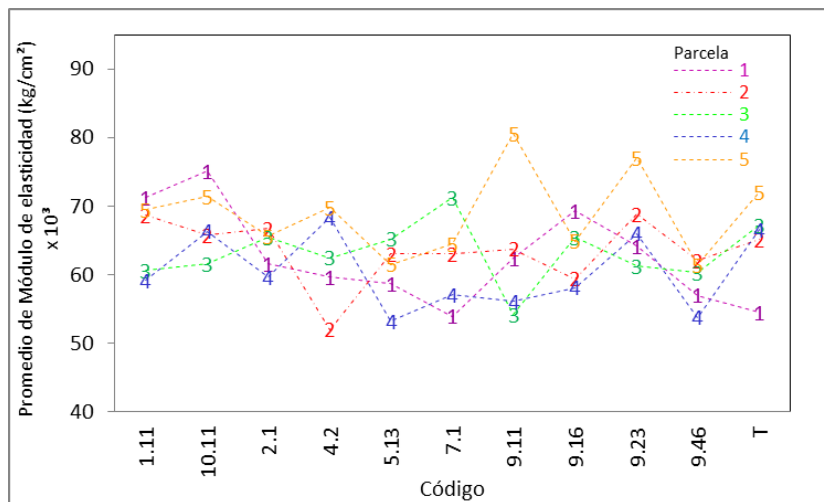


Figura 16: Variación del MOE en flexión estática por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

En compresión paralela, se aprecia en las figuras 17, 18 y 19 la variación de los promedios de las variables ELP, RM y MOE. Si bien no hay una tendencia marcada entre tratamientos, que es el factor significativo, por la prueba Tukey (Anexo 22 al 24) se desprende especialmente para MOE y RM, que los códigos 10.11, 5.13, 7.1 y 9.23 presentaron mayores valores, siendo a su vez dichos códigos los que mostraron mayor densidad básica en algunas parcelas experimentales. Resultado similar fue encontrado por Braz (2014), quien reportó para madera de *Eucalyptus* de 52 y 65 meses proveniente de plantaciones comerciales una mayor densidad y consecuentemente mayor resistencia mecánica en compresión paralela (MOE y RM). Es importante resaltar que dichos códigos en su mayoría mostraron altos

valores de rigidez y resistencia en la mayoría de las parcelas experimentales, por lo que se evidencia su superioridad respecto a los demás tratamientos.

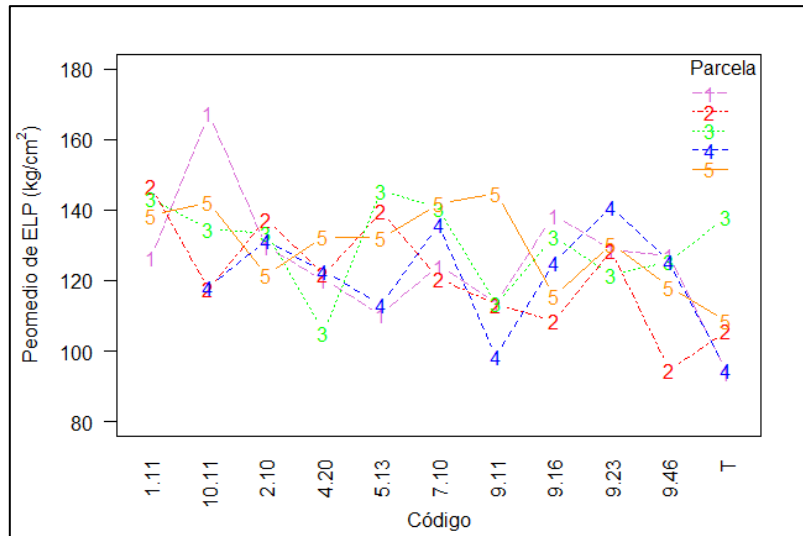


Figura 17: Variación de ELP en compresión paralela por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

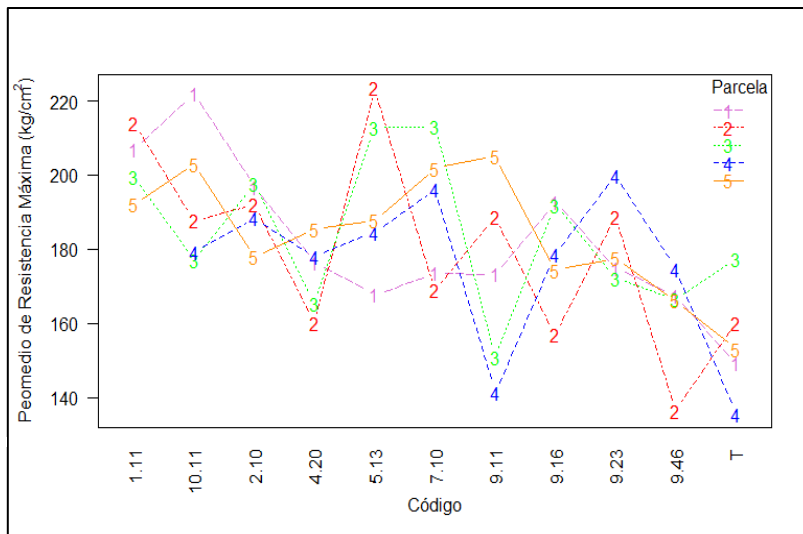


Figura 18: Variación de RM en compresión paralela por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

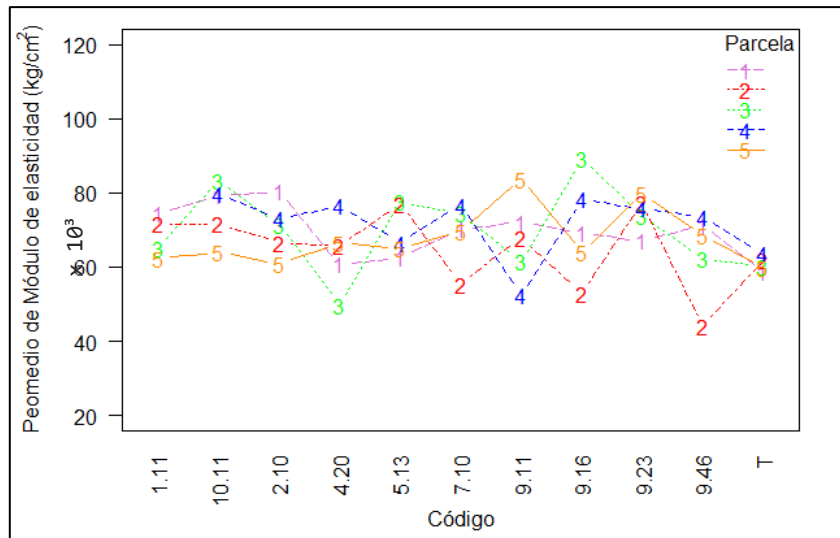


Figura 19: Variación del MOE en compresión paralela por tratamiento y parcela experimental de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

4.1 Clasificación de la especie en estudio

En la Tabla 23 se exponen los valores promedios de las propiedades mecánicas (flexión estática y compresión paralela) en condición saturada de los códigos clonales y testigo, los que fueron analizados de acuerdo a la clasificación de Dávalos y Bárcenas (1998) en condición verde. Los *clones* fueron calificados de resistencia “Baja” para flexión estática (MOR y MOE) y compresión paralela (RM), mientras que el *testigo* fue calificado de resistencia “Baja” para flexión estática y “Muy Baja” para compresión paralela.

Este resultado podría deberse a la presencia de madera juvenil, que se caracteriza anatómicamente por presentar longitud de fibra corta y pared delgada conforme a lo reportado por Piccone (2019) para la madera en estudio. Por otra parte, según Bhat et al., (2001) para madera de *Tectona grandis* encontró que existe diferencia en los valores de resistencia entre madera juvenil y adulta, teniendo la madera juvenil valores 20% inferiores de flexión estática (MOR y MOE) y ligeramente inferiores de compresión paralela (RM). Por tanto se presume que los bajos valores de resistencia mecánica pudieron deberse a la presencia de madera juvenil al provenir de una plantación joven de 3,5 años.

Tabla 23: Clasificación de las propiedades mecánicas, según el valor promedio, de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en condición saturada

Propiedad mecánica	Unidad	Valor Promedio (Códigos clonales)	Valor Promedio (Testigo)	Criterio de clasificación - Dávalos y Bárcenas (1998) en condición verde	
Flexión estática	MOR	kg/cm ²	400,67	399,22	Bajo
	MOE	kg/cm ² x 10 ³	63,67	63,43	Bajo
Compresión paralela	RM	kg/cm ²	183,91	152,37	Bajo /Muy Bajo

4.2 Comparación de las propiedades mecánicas con otros estudios

La Tabla 24 y Figura 20 comparan los valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de clones de 3,5 años de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) con estudios previos para la misma especie pero distinta edad correspondiente a plantaciones convencionales (semilla/ no clonal) establecidas en el mismo ámbito de estudio, siendo necesario el ajuste al 12% de contenido de humedad.

Tabla 24: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera obtenida en plantación clonal de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) con otros estudios de la misma especie

Propiedad mecánica	Unidad	Promedio	Urbina (2017)	Sueros (2017)	Aguilar (2019)	
Edad	años	3,5	4	5	6	
Densidad Básica	g/cm ³	0,36	0,35	0,28	0,31	
Flexión estática	MOR	kg/cm ²	549,81	529,34	479,76	426,55
	MOE	kg/cm ² x 10 ³	77,96	74,37	67,55	61,15
Compresión Paralela	RM	kg/cm ²	386,18	248,21	256,54	230,02

*Valores ajustados al 12% de CH

Se aprecia que los valores promedios de flexión estática (MOE y MOR) y compresión paralela (RM) para madera de diferentes edades de la misma especie varían indistintamente de la edad, en general se esperaría que a mayor edad exista mayor densidad y resistencia; sin embargo, se ve que la densidad básica y en consecuencia las propiedades mecánicas encontradas son mayores a los registrados en estudios previos con madera de mayor edad. Esto sería explicado por Carneiro (2006), quien afirma que las propiedades de la madera varían conforme a la especie, edad, posición geográfica, clima y condiciones de suelo en que los árboles son establecidos; y corroborado por Silva (2002) quien reporta las propiedades mecánicas en madera de *Eucalyptus grandis* de diferentes edades, encontró que los valores de MOE y MOR en flexión estática no solo fueron afectados por la edad sino también por la influencia que ejerce las condiciones ambientales, el sitio y la diversidad de material

genético. Por lo tanto, las características específicas de las parcelas experimentales y el material genético de los clones seleccionados pueden explicar la superioridad de los valores obtenidos respecto a los demás estudios, que corresponden a plantaciones forestales convencionales.

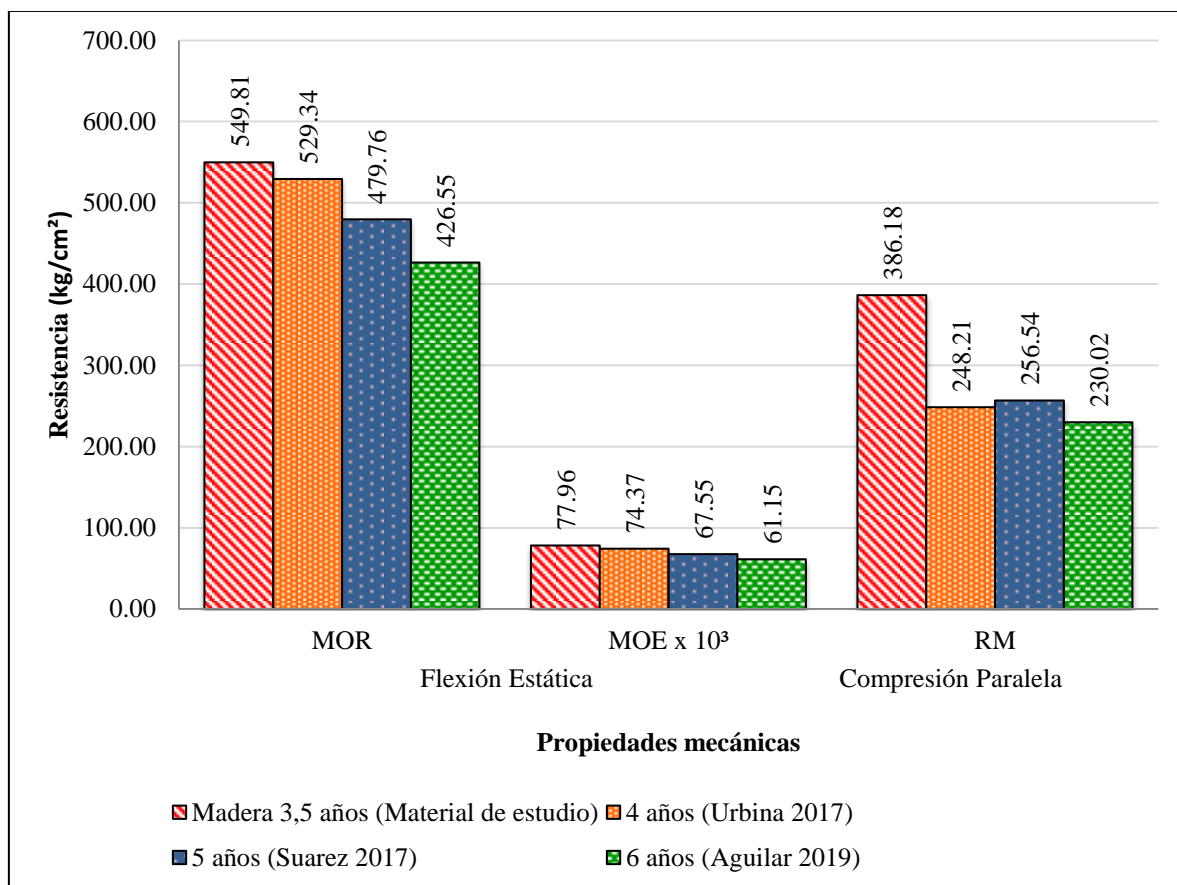


Figura 20: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de clones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de 3,5 años con otros estudios en plantaciones tradicionales (semilla / no clonal) de la misma especie

La Tabla 25 muestra los resultados del análisis de correlación y regresión para las propiedades físicas y mecánicas con la densidad básica. Para todos los casos se hizo el análisis por parcela experimental para evitar que dicho factor afecte las relaciones que pudieran tener las variables. Se evidencia que tanto el coeficiente de correlación (r) como el de determinación (r^2) presentan bajos valores, al mostrar en su mayoría una relación lineal débil ($r \leq 0,5$) para el coeficiente de correlación y baja relación entre las variables (r^2 próximo a 0) para el coeficiente de determinación según Juan *et al* (2011); con excepción del MOR en flexión estática, donde alcanza valores de 0,69 para el coeficiente de correlación, indicando que existe correlación moderada entre las variables 0,48 y para el coeficiente de determinación que indica que el 48% de la variación del MOR-flexión estática está explicada

por la densidad básica para la parcela V. Para dichos casos se puede decir que la densidad básica (variable independiente) puede ser utilizada para predecir valores de MOR en flexión estática mediante el uso de la ecuación lineal descrita en la tabla.

Los bajos valores obtenidos para la relación densidad básica- propiedades físicas y densidad básica- propiedades mecánicas sería explicado por las características anatómicas y químicas propias de cada árbol y las condiciones ambientales en las que crecieron individualmente, que concuerda con lo señalado por França et al., citado por Faria et al., 2019, que las dimensiones, frecuencia y distribución de los constituyentes anatómicos, afectan las propiedades físicas y mecánicas de la madera; pues estructuras como el espesor y la longitud de la pared celular están relacionadas con la resistencia de las fibras y afectan las propiedades físicas (estabilidad dimensional y densidad) y éstas a su vez las propiedades mecánicas.

Tabla 25: Coeficiente de determinación, correlación y ecuación de regresión lineal entre densidad básica y las propiedades físico-mecánicas de la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita*)

Propiedad (Variable dependiente)	Parcela experimental	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (r ²)	Ecuación Lineal
Contracción Radial Total	I	0.54	0.29	CR ₁ =-0.12+8.28 DB ₁
	II	0.22	0.05	CR ₂ =1.57+4.19 DB ₂
	III	0.45	0.21	CR ₃ =0.33+7.05 DB ₃
	IV	0.29	0.08	CR ₄ =1.22+4.85 DB ₄
	V	0.35	0.12	CR ₅ =-0.02+7.99 DB ₅
Contracción Tangencial Total	I	0.16	0.03	CT ₁ =4.49+3.89 DB ₁
	II	0.25	0.06	CT ₂ =2.64+8.31 DB ₂
	III	0.11	0.01	CT ₃ =6.61-2.32 DB ₃
	IV	0.27	0.07	CT ₄ =2.85+7.68 DB ₄
	V	0.50	0.25	CT ₅ =-1.42+17.92 DB ₅
Contracción Longitudinal Total	I	0.11	0.01	CL ₁ =0.05+0.04 DB ₁
	II	0.07	0.01	CL ₂ =0.06+0.02 DB ₂
	III	0.07	0.01	CL ₃ =0.05+0.02 DB ₃
	IV	0.01	0.00	CL ₄ =0.06-0.003 DB ₄
	V	0.18	0.03	CL ₅ =0.04+0.06 DB ₅
Contracción Volumétrica Total	I	0.42	0.17	CV ₁ =4.47+11.59 DB ₁
	II	0.30	0.09	CV ₂ =4.24+12.09 DB ₂
	III	0.16	0.02	CV ₃ =6.96+4.39 DB ₃
	IV	0.45	0.20	CV ₄ =4.17+11.97 DB ₄
	V	0.56	0.32	CV ₅ =-1.22+25.04 DB ₅

Continuación Tabla 25.

Propiedad (Variable dependiente)	Parcela experimental	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (r ²)	Ecuación Lineal	
Flexión Estática	ELP	I	0.64	0.41	ELP ₁ = -67.26 + 822.57 DB ₁
		II	0.33	0.11	ELP ₂ = 94.83 + 365.57 DB ₂
		III	0.48	0.23	ELP ₃ = 14.47 + 597.79 DB ₃
		IV	0.38	0.15	ELP ₄ = 58.99 + 381.02 DB ₄
		V	0.42	0.18	ELP ₅ = 17.08 + 582.02 DB ₅
	MOR	I	0.68	0.46	MOR ₁ = -208.41 + 1693.73 DB ₁
		II	0.60	0.36	MOR ₂ = -41.43 + 1314.97 DB ₂
		III	0.59	0.34	MOR ₃ = -185.85 + 1662.46 DB ₃
		IV	0.56	0.31	MOR ₄ = -74.97 + 1267.06 DB ₄
		V	0.69	0.48	MOR ₅ = -247.85 + 2033.81 DB ₅
	MOE	I	0.41	0.16	MOE ₁ = 14.75 + 140.03 DB ₁
		II	0.36	0.13	MOE ₂ = 21.77 + 118.89 DB ₂
		III	0.21	0.04	MOE ₃ = 41.07 + 65.23 DB ₃
		IV	0.39	0.15	MOE ₄ = 18.74 + 118.29 DB ₄
		V	0.42	0.18	MOE ₅ = -3.69 + 206.77 DB ₅
Compresión Paralela	ELP	I	0.19	0.04	ELP ₁ = 54.76 + 191.36 DB ₁
		II	0.03	0.00	ELP ₂ = 116.85 + 17.33 DB ₂
		III	0.25	0.06	ELP ₃ = 67.98 + 178.09 DB ₃
		IV	0.05	0.00	ELP ₄ = 108.63 + 31.39 DB ₄
		V	0.28	0.08	ELP ₅ = 51.72 + 202.41 DB ₅
	RM	I	0.32	0.10	RM ₁ = 40.88 + 382.76 DB ₁
		II	0.26	0.07	RM ₂ = 79.45 + 278.07 DB ₂
		III	0.38	0.14	RM ₃ = 27.23 + 439.82 DB ₃
		IV	0.12	0.01	RM ₄ = 129.36 + 122.82 DB ₄
		V	0.18	0.03	RM ₅ = 121.68 + 160.33 DB ₅
	MOE	I	0.13	0.02	MOE ₁ = 41.56 + 75.95 DB ₁
		II	0.08	0.00	MOE ₂ = 52.78 + 35.83 DB ₂
		III	0.09	0.01	MOE ₃ = 52.24 + 57.29 DB ₃
		IV	0.08	0.01	MOE ₄ = 56.07 + 40.50 DB ₄
		V	0.31	0.09	MOE ₅ = 20.32 + 131.12 DB ₅

V. CONCLUSIONES

1. La madera de clones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de 3,5 años presenta estabilidad dimensional y se caracteriza por sus bajos valores de densidad básica, contracción volumétrica, resistencias a la flexión estática y compresión paralela, mientras que la madera del testigo se diferencia por su mediano valor de densidad básica pero muy bajo valor de compresión paralela.
2. Las propiedades físicas presentan variación significativa (v.s.) entre tratamientos y parcelas experimentales; y sobre las propiedades mecánicas, la flexión estática estuvo más influenciada por el relieve del sitio (v.s. entre parcelas) y la compresión paralela por la influencia del material genético (v.s. entre tratamientos).
3. Se demuestra la superioridad genética de los clones de 3,5 años, en cuanto al valor medio de resistencia en flexión estática (MOR y MOE) y compresión paralela (RM), frente a las demás plantaciones convencionales (semillas/ no clonales) de la misma zona de estudio, e incluso mayor edad (4, 5 y 6 años).
4. La densidad básica aún no sería un buen estimador de sus propiedades físicas y mecánicas; aunque su densidad empieza a evidenciar una mejor correlación con el módulo de ruptura en flexión estática.
5. Los clones 10.11, 7.1 y 9.23 presentaron los mejores comportamientos en las propiedades físicas y mecánicas para las condiciones planas e inclinadas de los sitios evaluados, es decir, tuvieron un mayor rango de adaptación a todas las condiciones de relieve, en comparación a los demás clones.
6. Las plantaciones clonales con las mayores pendientes (II y V) evidenciaron mayor proporción de madera de reacción por la manifestación de tensiones de crecimiento y médula excéntrica.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de variación longitudinal (base, media y alto) y radial (médula-corteza) de la madera en estudio y su relación con la madera de reacción.
2. Efectuar estudios con madera de mayor edad y mayor cantidad de probetas correspondiente a los mismos códigos clonales y parcelas experimentales a fin de evaluar si dichos factores mantienen la influencia en los resultados.
3. Evaluar el comportamiento de los mejores códigos clonales encontrados en condiciones edafo-climáticas favorables y con un adecuado manejo silvicultural para poder determinar el mejor material genético.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J.C. (2019). Propiedades mecánicas de madera de raleo de 6 años provenientes de plantaciones de *Guazuma crinita* en Puerto Inca-Huánuco (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4030>
- Álvarez, L. & Ríos, S. (2009). Evaluación económica de parcelas de regeneración natural y plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en el Departamento de Ucayali. Ucayali, Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Recuperado de <http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/225>
- Alves, L.M. (2011). Características anatômicas do lenho juvenil e adulto da madeira de *Eucalyptus Grandis Hill ex Maiden* (Tesis de pregrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro]. Recuperada de <http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2011I/Leticia.pdf>
- Aparicio, A.; Juárez, S.F.; Sánchez, L. (2011). Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 20(1): 85-96. <https://url2.cl/8BqKI>
- Arango, B. (2009). Estrutura anatômica da madeira de clones de *Eucalyptus*. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 5(1): 1-14. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/44204822>
- Araújo, B.H.; Sousa, M.A.; Nascimento, H.E.; Zanuncio, A. J.; Rodrigues, D.M.; Carneiro, M. (2016). Propriedades físicas da madeira de *Calycophyllum spruceanum* Benth. em função do diâmetro e da posição (base e topo) no fuste. *Scientia Forestalis*, 44(111): 759-768. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr111/cap22.pdf>

- Aróstegui, A. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas (Documento de trabajo N°2). Lima, Perú: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Barceló, J.; Nicolás, G.; Sabater, B.; Sánchez, R. (2001). Fisiología vegetal. Madrid, Perú: Pirámide.
- Barnett, J. & Jeronimidis, G. (2003). Wood quality and its biological basis. Oxford, England: Blackwell publishing.
- Bhat, K.M.; Priya, P.B.; Rugmini, P. (2001). Characterization of juvenile wood in teak. Wood Science and Technology, 34(6): 517-532. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs002260000067>
- Basauri, Y. (2017). Propagación vegetativa por estacas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) mediante minitúneles en ambientes controlados en San Alejandro, Irazola-Ucayali (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2998>
- Batista, D.C.; Klitzke, R.J.; Tabora Santos, C.V. (2010). Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. Ciência Florestal, 20(4): 665-674. Recuperado de <https://periodicos.ufsm.br/index.php/cienciaflorestal/article/view/2425>
- Beltrame, R.; Lazarotto, M.; Haselein, C.R.; Santini, E.J.; Schneider, P.R.; Aguiar, A.M. (2012). Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus spp.* Ciência Florestal, 22(2): 343-351. Recuperado de <https://periodicos.ufsm.br/index.php/cienciaflorestal/article/view/5741>
- Braz, R.L. (2014). Influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* (Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Paraná). Recuperada de <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37912>
- Bruce, R. (2000). Understanding Wood: A Craftsman's Guide to Wood Technology (2ª ed.). Connecticut, United States: Taunton Press.

- Callister, A. & Collins, S. (2008). Genetic parameter estimates in a clonally replicated progeny test of teak (*Tectona grandis* Linn.f.). *Tree Genetics y Genomes*, 4(2): 237-245. Recuperado de <https://url2.cl/bHTfG>
- Cárdenas, A. (2012). Determinación de las propiedades físicas en diferentes niveles del fuste de Bolaina Blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) en Tingo María (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Recuperada de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/540>
- Carneriro, R.S. (2006). Influência de defeitos de crescimento e das dimensões detraqueídeos nas propriedades de densidade e flexão estática da madeira de *Pinus caribea* (Tesis de Maestría no publicado). Universidade de Brasília, Brasília.
- Charifo, A. (2011). Physical-Mechanical Properties and Natural Durability of Lesser Used Wood Species from Mozambique (Tesis de Doctorado, Swedish University of Agricultural Sciences). Recuperada de <https://url2.cl/EhEFh>
- Chavesta, M.; Montenegro, R.; Tomazello-Filho, M.; Carnerio, M.; Nisgoski, S. (2019). Propiedades físicas en *Guazuma crinita* por medios convencionales y espectroscopia infrarroja cercana. *Maderas, ciencia y tecnología*, 21(4): 521-530. doi: 10.4067/S0718-221X2019005000408
- Cisternas, A. (1994). Conversión de Densidades de la Madera. *Ciencia e Investigación Forestal*, 8(2): 301-315.
- Cobas, A.C.; Monteoliva, S.E. (2018). Duramen y propiedades físicas de la madera de *Robinia pseudoacacia* en relación a su potencial uso en la industria de la madera sólida. *Rev. Fac. Agron*, 117(1): 127-131. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70939>
- Confederación Peruana de la Madera. (2008). Compendio de Información Técnica de 32 especies forestales (2ª ed.). Lima, Perú: Citemadera. Recuperado de <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/125.pdf>
- Cruz, C.R.; Lima, J.T.; Muniz, G.I. (2003). Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas de híbridos de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, 64: 33-47. Recuperado de <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr64/cap03.pdf>

- Dávalos, R. & Bárcenas, G. (1998). Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “verde”. *Madera y Bosques*, 4(1): 65-70. Recuperado de <http://myb.ojs.inecol.mx/myb3/index.php/myb/article/view/1368>
- Delucis, R.; Gatto, DA.; Stangerlin, D.M; Beltrame, R. (2014). Métodos de delimitação dos lenhos juvenil e adulto de três folhosas e propriedades biométricas de suas fibras. *Revista Árvore*, 38(5): 943-950. doi: 10.1590/S0100-67622014000500019
- Desch, H.E. & Dinwoodie, J.M. (1996). *Timber structure, properties, conversion and use* (7ª ed.). London, England: Red Globe Press.
- Díaz, P. (2005). Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de Madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la Zona de Cauquenes (Tesis de pregrado, Universidad de Talca). Recuperada de http://dspace.otalca.cl/retrieve/6282/diaz_mendez.pdf
- Evangelista, W.V.; Castro, J.; Della, R.M.; Messias, L.; Alves, M.O. (2010). Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no sentido radial e longitudinal. *Ciência da Madeira*, 1(2): 1-19. Recuperado de <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4022>
- Faria, D.L.; Santos, C.A.; Correa, A.C.; Mendes, L.M.; Guimarães, J.B. (2019). Qualidade da madeira de *Hevea brasiliensis* visando a produção de celulose e papel. *Agrarian Academy*, 6(11): 303-314. Recuperado de <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2019A/qualidade.pdf>
- Ferreira, S. (2007). Lenho de tração em *Eucalyptus spp* cultivado em diferentes topografías (Tesis de Doctorado no publicado). Universidade Federal de Lavras.
- Ferreira, S.; Lima, J.T.; Trugilho, P.F.; Monteriro, T.C. (2008). Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografías. *Revista Cerne*, 14(1): 335-340. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/744/74411119007.pdf>
- Flórez, J.B. (2012). Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L. f.) (Tesis de Maestría, Universidade de Federal de Lavras). Recuperada de <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/969>

- Flórez, J.B.; Trugilho, P.F.; Lima, J.T.; Hein, P.R.; Silva, J.R. (2014). Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y Bosques*, 20(1); 11-20. Recuperado de <http://myb.ojs.inecol.mx/myb3/index.php/myb/article/view/172>
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook-Wood as an engineering material (1ª ed.). Madison, United States: Centennial Edition. Recuperado de https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
- Fournier, M.; Chanson, B.; Thibaut, B.; Guitard, D. (1994). Mesures des déformations résiduelles de croissance à la surface des arbres, en relation avec leur morphologie. Observations sur différentes espèces. *Annals of Forest Science*, 51(3): 249-266. doi: <https://doi.org/10.1051/forest:19940305>
- França, M.C. (2019). Caracterização tecnológica de clones de *Eucalyptus* para a produção de madeira maciça (Tesis de Doctorado, Universidade Federal do Paraná). Recuperada de <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/64092>
- Glass, S. & Zelinka, S. (2010). Moisture Relations and Physical Properties of Wood. En Forest Products Laboratory, Wood handbook- Wood as an engineering material (p. 80-98). Wisconsin, United States: Centennial Edition.
- Gobierno Regional de Huánuco. (2016). Estudio: Zonificación Ecológica Económica Base para el ordenamiento territorial de la Región Huánuco. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/zonificacion-ecologica-economica-base-ordenamiento-territorial-region>
- Gonzales, I. (2008). Atlas de maderas de la Selva Central. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado por https://issuu.com/nicanorebook/docs/atlas_de_maderas_ebook
- Gril, J.; Jullien, D.; Bardet, S.; Yamamoto, H. (2017). Tree growth stress and related problems. *Journal of Wood Science*, 63: 411-432. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10086-017-1639-y>
- Guerra, H.; Arévalo, L.A.; Guerra, W.; Del Castillo, D. (2018). Manual técnico: Propagación vegetative de Bolaina Blanca en ambientes controlados. Iquitos, Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Recuperado de <http://repositorio.iiap.org.pe/handle/IIAP/378>

- Hernández, R.; Green, D.W.; Kretschmann, D. E.; Verrill, S. P. (2005). Improved utilization of small-diameter ponderosa pine in glulam timber. Madison, United States: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Recuperado de https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fpl_rp625.pdf
- Javier, F. (2010). Efecto de los estados de competencia post-raleo en los caracteres de importancia de la madera del *Eucalyptus grandis hill ex Maiden* para uso sólido (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Misiones). Recuperada de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_efecto_de_estados_de_competencia.pdf
- Juan, A.; De la Fuente, B.; Vila, A. (2011). Estadística: Relación entre variables: causalidad, correlación y regression. Cataluña, España: Universitat Oberta de Catalunya Universitat Oberta de Catalunya.
- Kiaei, M. (2012). Effect of site and elevation on wood density and shrinkage and their relationships in *Carpinus betulus*. *Forestry Studies in China*, 14 (3): 229–234. doi: 10.1007/s11632-012-0310-3
- Kuai, B.; Wang, X.; Lv, C.; Xu, K.; Zhang, Y.; Zhan, T. (2019). Orthotropic Tension Behavior of Two Typical Chinese Plantation Woods at Wide Relative Humidity Range. *Forests*, 10(6): 516. Recuperado de <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/6/516>
- Lima, J.T.; Trugilho, P.F.; Rosado, S.C.; Cruz, C.R., (2004). Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. *Revista Árvore*, 28(1): 107-116. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48828114>
- Lima, I.L.; Pimentel, M.M.; Garcia, J.N. (2011). Propriedades Mecânicas e Densidade Aparente da Madeira de *Tectona grandis* Linn. F. (Teca) em Função do Espaçamento e da Posição Radial na Tora. *Silva Lusitana*, 19(2): 221-232. Recuperado de http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-63522011000300007

- Lobão, M.S.; Della, R.M.; Sarmet, M.S.; Gomes, A. (2004). Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. *Revista Árvore*, 28(6): 889-894. Recuperado de <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/15187>
- Lyon, S. (2016). Wisconsin Wood. Wisconsin Department of Natural Resources. Recuperado de <https://dnr.wi.gov/topic/ForestBusinesses/documents/bulletin/2016-spring.pdf>
- Martínez, H & Ochoa, N. (2010). Avances de genética forestal en México. (Tesis de Licenciatura no publicado). Universidade Autónoma Chapingo.
- Melo, V. M. (2004). Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades (Tesis de Maestría, Universidade Federal de Lavras). Recuperada de <http://repositorio.ufla.br/handle/1/35247?locale=en>.
- Mello, R. (2007). Projetar em madeira: Uma nova abordagem (Tesis de Maestría, Universidade de Brasilia). Recuperada de <https://repositorio.unb.br/handle/10482/3133>
- Meneses, V.A.; Trugilho, P.F.; Calegario, N.; Leite, H.G. (2015). Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, 43(105): 101-116. Recuperado de <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1700>
- Miguel, C. (2013). Elaboración de tableros de partículas con bolaina (*Guazuma crinita* Martius) perteneciente a una plantación de cuatro años (Tesis de Pregrado no publicado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú [Archivo pdf]. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Molina, F. (2017). Comportamiento de clones de teca (*Tectona grandis linn.*) a los 4,5 años en Upala, zona norte de Costa Rica (Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica). Recuperada de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9394>

- Monteiro, T.C.; Vieira, R.; Lima, J.; Baraúna, E.; Carvalho, D.; Lima, M. (2010). Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus sp.* Journal of Biotechnology and Biodiversity, 1(1): 6-11. Recuperado de <http://www.bioline.org.br/pdf?jy10002>
- Mora, H. (2017). Efecto de diferentes tratamientos sobre la propagación vegetativa de clones superiores de Caoba (*Swietenia macrophylla king*) en condiciones de invernadero (Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica). Recuperada de <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/14237>
- Moreschi, J.C. (2005). Propriedades tecnológicas da madeira. Curitiba, Brasil: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. Recuperado de <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>
- Moya, R.A. (2005). Variação da anatomia e da densidade básica da madeira de *Gmelina arborea* (Roxb.), em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica (Tesis de Doctorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz). Recuperada de <https://url2.cl/5Uq5y>
- Muneri, A.; Legate, W.; Palmer, G. (2000). Relationships between surface growth strain and some tree wood and sawn timber characteristics of *Eucalyptus cloeziana*. Southern African Forestry Journal, 187: 41-49. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10295925.1999.9631241>
- Municipalidad Provincial de Puerto Inca. (2013). Mapa de Uso Mayor de Suelos [mapa]. Recuperado de http://www.proviasdes.gob.pe/planes/huanuco/pvpp/PVPP_Puerto_Inca_2014_2023.pdf
- Murillo, O. & Badilla, Y. (2005). ¿Qué es mejoramiento genético forestal?. Manual Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. San José, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Mutizabal, A. (2008). Comportamiento de tensiones de crecimiento en tres procedencias de *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden, Región del Bío – Bío (Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile). Recuperada de <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/17614>

- Paredes, O.; Soudre, M.; Chavez, J.; Guerra, W. (2010). Propagación vegetativa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) mediante injerto, bajo condiciones ambientales controladas. *Folia Amazónica*, 19(1-2): 69-77. doi: 10.24841/fa.v19i1-2.346
- Piccone, M.F. (2019). Caracterización anatómica de la madera de 10 clones de *Guazuma crinita* Mart. de 3 años de Huánuco-Perú (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3888>
- Radke, P. & Radke, A. (2004). Plantation improvement using clonal propagation-an overview of the latest technology in Australia. In *Prospects for high-value hardwood timber plantations in the 'dry' tropics of Northern Australia: Proceedings of a Workshop held in Mareeba, North Queensland, Australia, 19-21 October, 2004* (p. 1-14). Queensland, Australia: Private Forestry North Queensland Association.
- Ramage, M.; Burrige, H.; Fereday, G.; Reynolds, T. (2017). The wood from trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(1): 333-359. doi: 10.1016/j.rser.2016.09.107
- Ramos, A. (2015). Propagación por estacas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) provenientes de árboles candidatos a plus en condiciones de cámara de sub-irrigación (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2117>
- Reynel, C.; Pennington, R.T.; Pennington, T.D.; Flores, C.; Daza, A. (2003). Árboles Útiles de la Amazonía Peruana y sus Usos: Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Lima, Perú: International Center for Research in Agroforestry.
- Rochon, C.; Margolis, H. A.; Weber, J. C. (2007). Genetic variation in growth of *Guazuma crinita* (Mart.) trees at an early age in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 243(2-3): 291-298. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811270700240X?via%3Dihub>
- Rojas, S.; García, J.; Alarcón, M. (2004). Propagación Asexual de Plantas: Conceptos Básicos y Experiencias con Especies Amazónicas. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4167>

- Rubio, J. (2002). Estadística. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Scaliante, R.M.; Almeida, D.H.; Macedo, L.B. (2011). Ensaio de fluência e de compressão paralela às fibras para situações da madeira à umidade de equilíbrio e saturada. *Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia*, 12(30): 19-30. Recuperado de <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/187>
- Segura, R. (2012). Evaluación comparativa de las densidades entre árboles y niveles de fuste Bolaina (*Guazuma crinita* C. Martius) en la zona de Tingo María (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Recuperada de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/960>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2019). Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2017 [Archivo pdf]. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/anuario-forestal-fauna-silvestre-2017>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2011). Mapa de clasificación climática del Perú. Recuperado de <https://senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2016-2018). Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. Recuperado de <https://senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Shmulsky, R. & Jones, P.D. (2011). *Forest Products and Wood Science: An Introduction* (7ª ed.). Mississippi, United States: John Wiley & Sons.
- Sibille, A. (2006). Guía de procesamiento industrial de muebles de maderas poco conocidos – LKS. Lima, Perú: World Wildlife Fund for Nature.
- Silva, J. C. (2002). Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira (Tesis de Doctorado, Universidade Federal do Paraná). Recuperada de <https://url2.ci/6eS9E>
- Solórzano, S. (2010). Evaluación a los 4 años de edad de variables dasométricas, calidad del fuste y propiedades de la madera en clones de *Tectona grandis* L. (Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica). Repositorio TEC.
- Solórzano, S.; Moya, R.; Chauhan, S. (2012). Early genetic evaluation of morphology and some wood properties of *Tectona grandis* L. clones. *Silvae Genetica*, 61(1-6): 58-65. doi: 10.1515/sg-2012-0008

- Sotelo Montes, C.; Hernández, R.E.; Beaulieu, J.; Weber, J.C. (2006). Genetic variation and correlations between growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* Benth. at an early age in the Peruvian Amazon. *Silvae Genet*, 55: 217–228. doi: 10.1515/sg-2006-0029
- Soudre, M. (2003). Zonificación Ecológica de la Cuenca del Aguaytía para el Cultivo de Bolaina Blanca (*Guazuma Crinita*). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Recuperado de: <http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/238>
- Soudre, M.; Mesen, J.F.; Castillo, D.; Guerra, H. (2008). Memoria. Bases Técnicas para la propagación vegetativa de árboles tropicales mediante enraizamiento de estaquillas. Ucayali, Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Soudre, M. (2010). Informe final de resultados y lecciones aprendidas: Proyecto Desarrollo tecnológico apropiado para la propagación vegetativa aplicado a la producción intensiva de semilla vegetativa de especies maderables valiosas en las regiones Loreto y Ucayali (Contrato N° 013-PIBAP-FINCYT-IIAP-2007). PROVEFOR. IIAP.
- Soudre, M. (2011). Manejo de un jardín clonal con 40 genotipos superiores de bolaina blanca de ensayo de progenie. Instituto de investigaciones de la Amazonía peruana IIAP. Ucayali, Perú: Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES).
- Soudre, M. (2012). Avances en la producción científica y tecnología forestal (2006 – 2011). Sub proyecto: Silvicultura de bolaina en plantaciones y sucesiones secundarias en Ucayali. Ucayali, Perú: Programa de Investigación en Manejo Integral de Bosques y Servicios Ambientales (PROBOSQUES).
- Stangerlin, D.M.; Melo, R.R.; Santini, E.J.; Gatto, D.A.; Domingues, J.M.; Calegari, L.; Muller, M.T. (2008). Avaliação da resistência ao impacto para as madeiras de *Eucalyptus botrioides* e *Eucalyptus saligna*. Em Anais do Congresso florestal estadual do Rio Grande do Sul (p. 65).
- Sueros, C.M. (2017). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de *Guazuma crinita* (Bolaina blanca) de tres edades (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2776>

- Tello, J. & Tello, E. (2016). Clonación del Eucalipto y Bolaina. Lima, Perú: Ministerio de la Producción.
- Touza, M.C. (2001). Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España): influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. *Maderas, Ciencia y tecnología*, 3(1-2): 68-89. doi:10.4067/S0718-221X2001000100008.
- Trugilho, P. F. (2005). Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus spp.* e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira (Tesis de Doctorado, Universidade Federal do Paraná). Recuperada de <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/4148>
- Tsehaye, A. (1995). Within- and between-tree variations in the wood quality of radiate pine (Tesis de Doctorado, University of Canterbury). Recuperada de <https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/7147>
- Tuisima, L. (2015). Genetic diversity of a tropical tree species *Guazuma crinita* Mart. (Malvaceae) in the Peruvian Amazon (Tesis de Doctorado, Czech University of Life Sciences). Recuperada de <https://www.ftz.czu.cz/dl/49061?lang=cs>
- Urbina, L. (2017). Propiedades mecánicas de la madera de raleo procedente de plantaciones de cuatro años de *Guazuma Crinita* Martius (Bolaina Blanca) (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2703>
- Vergara, T.; Dufau, B.; Gatto, D.A.; Buligon, E.A.; Haselein, CR. (2014). Determinação da idade de transição entre lenho juvenil e lenho adulto para três espécies florestais por meio de suas propriedades mecânicas. *Floresta e Ambiente*, 21(2): 251-260. doi: 10.4322/floram.2014.021
- Villena, G. (2018). Production of enzymes with industrial applications. *Impact*, 2018(8): 24-26. Recuperado de <https://impact.pub/November2018digitaledition/>
- Walker, J. (2006). *Primary Wood Processing: Principles and Practice* (2^a ed.). Christchurch, New Zealand: Springer.
- Weber, J. & Sotelo-Montes, C. (2008). Geographic variation in tree growth and wood density of *Guazuma crinita* Mart. in the Peruvian Amazon. *New Forests*, 36(1): 29-52. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-007-9080-5>

Zobel, B.J. & Buijtenen, J.P. (1989). Wood variation: its causes and control (2^a ed.). New York, United States: Springer Science & Business Media.

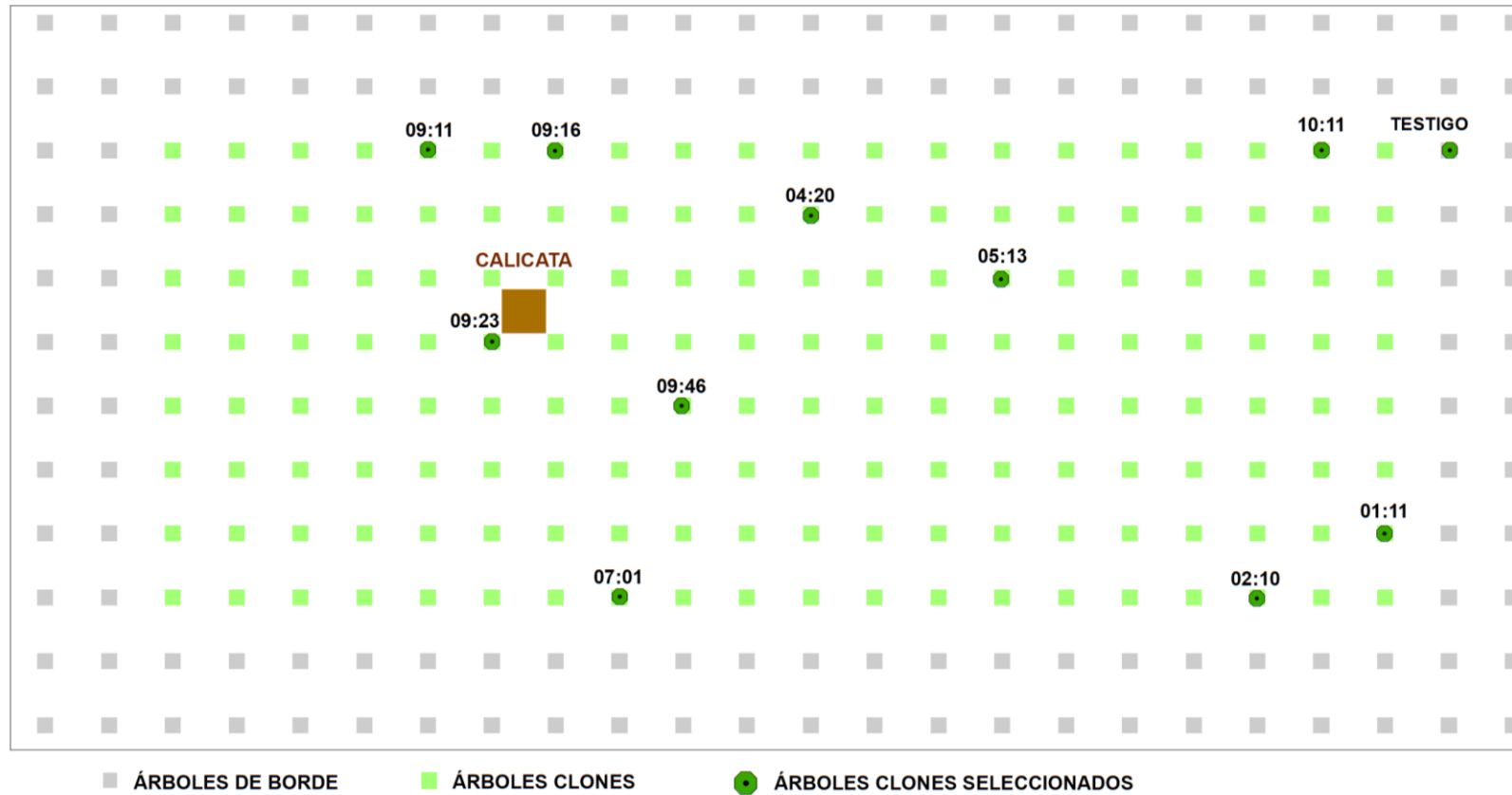
Zobel, B. & Talbert, J. (1984). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales control. Ciudad de México, Mexico: Limusa.

VIII. ANEXOS

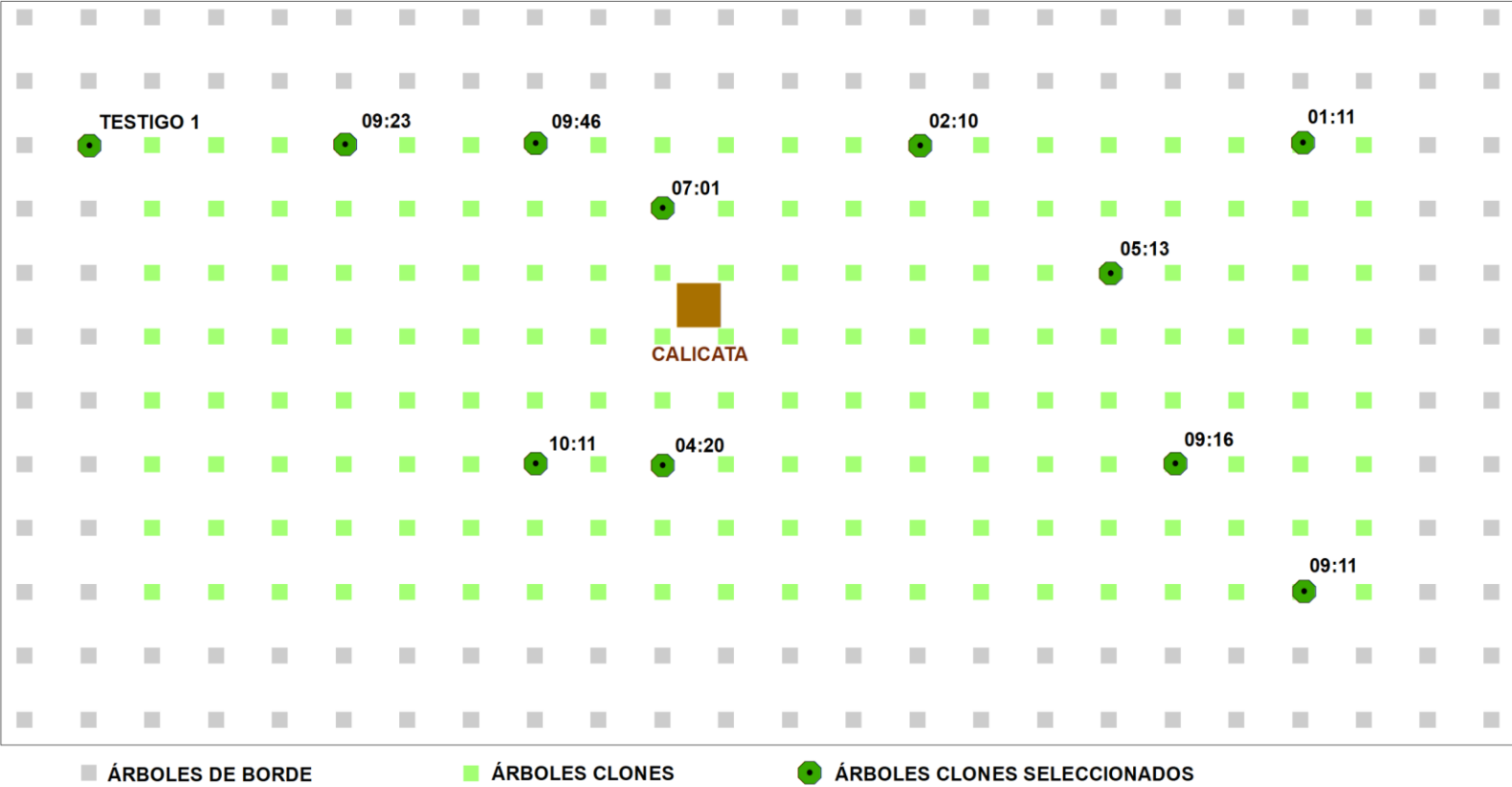
ANEXO 1

DISTRIBUCIÓN DE LOS CLONES SELECCIONADOS EN LAS CINCO PARCELAS EXPERIMENTALES

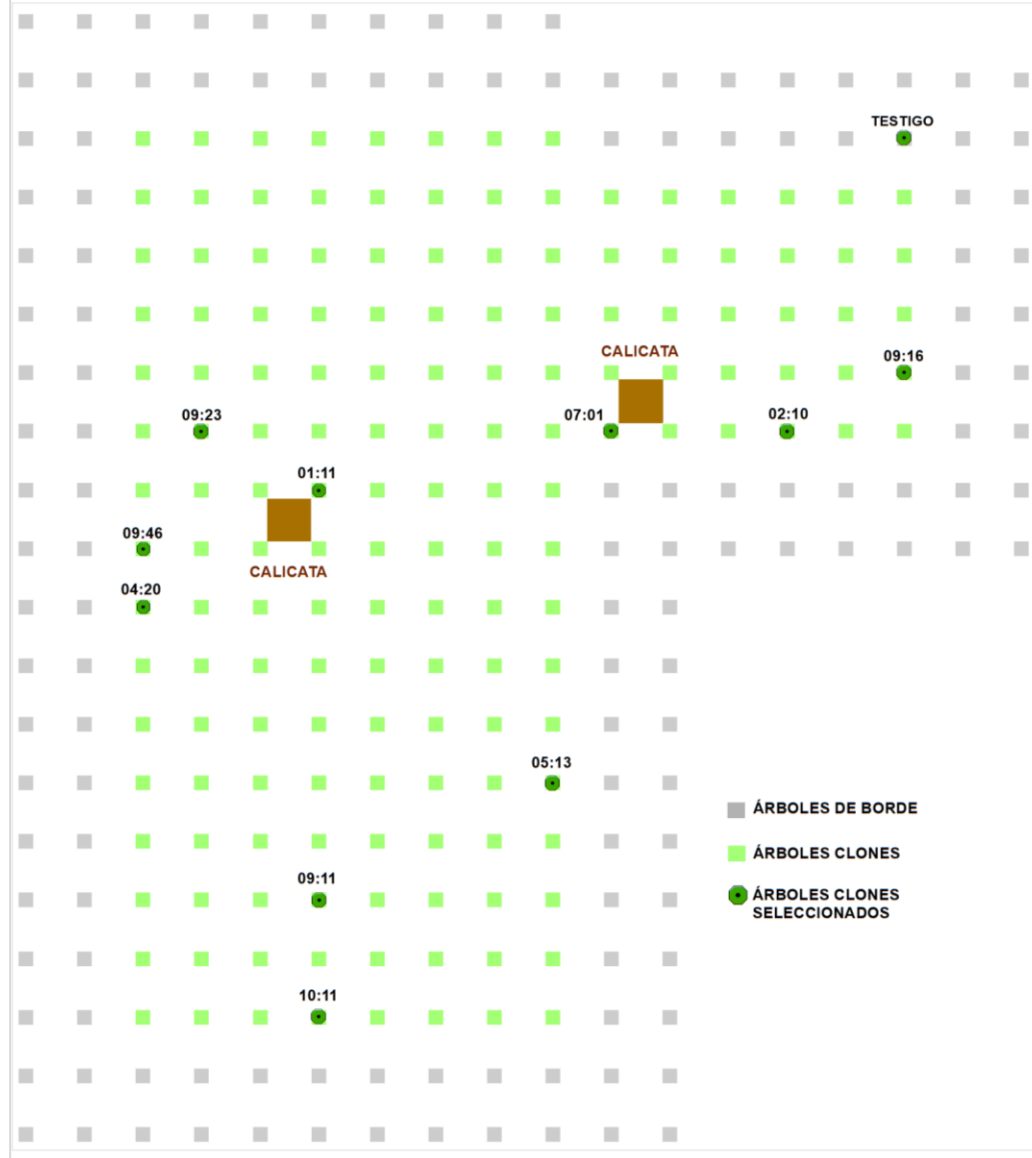
PARCELA I



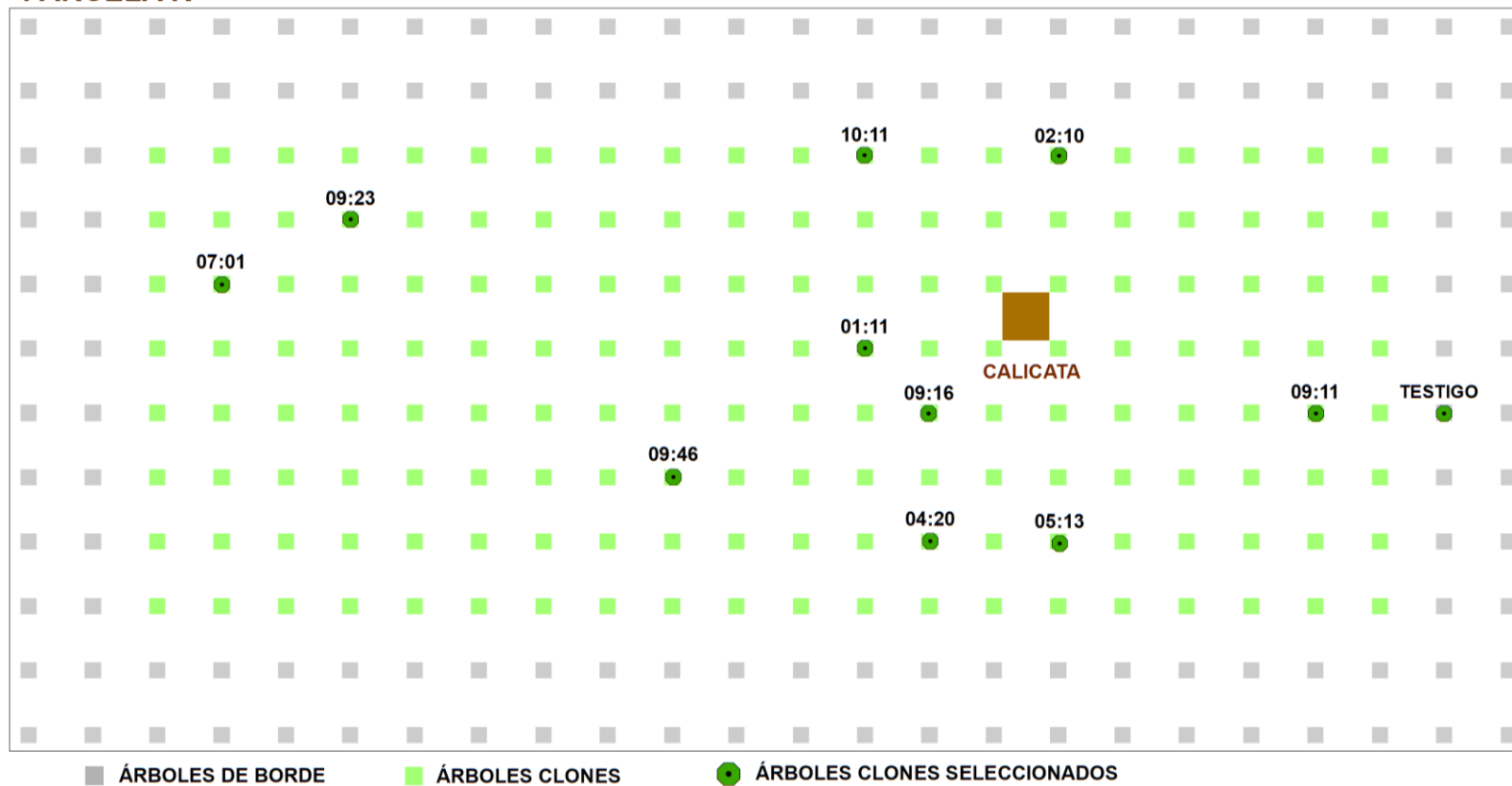
PARCELA II



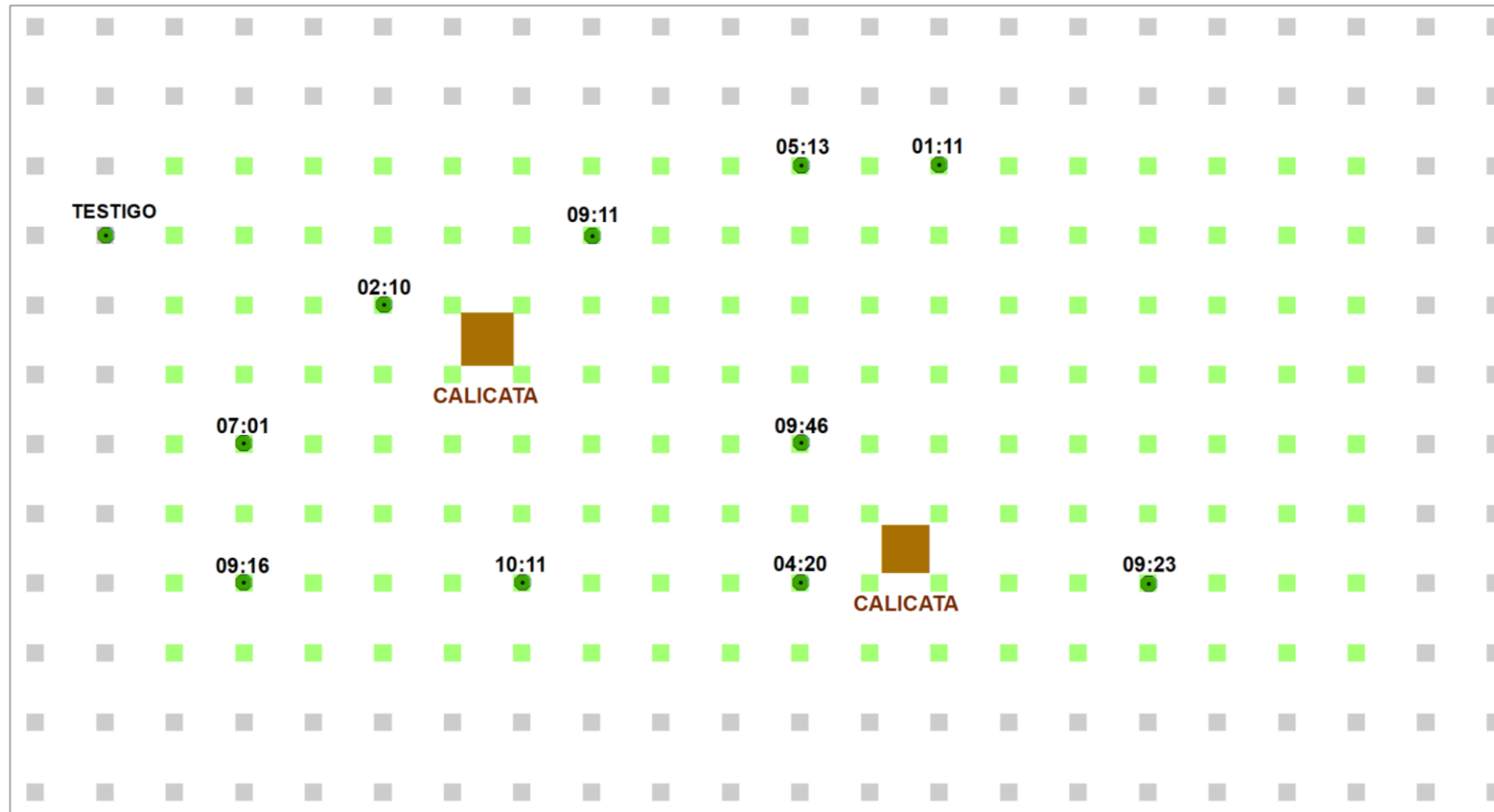
PARCELA III



PARCELA IV



PARCELA V



■ ÁRBOLES DE BORDE

■ ÁRBOLES CLONES

● ÁRBOLES CLONES SELECCIONADOS

ANEXO 2

CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE LOS CLONES SELECCIONADOS Y TESTIGO

CÓDIGO	DIAMETRO					ALTURA TOTAL					ALTURA COMERCIAL					CALIDAD DE FUSTE				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>07:01</i>	17.2	18.9	13.0	16.5	18.5	19.1	20.8	18.0	19.5	22.8	14.0	15.9	14.3	14.9	12.3	3,J,M	2,J,M	3,J,7,M	3,J,M	4,3,5,9,I
<i>02:10</i>	16.3	17.9	18.0	19.1	18.2	16.6	17.3	18.4	19.8	22.1	13.0	12.3	14.7	15.6	15.4	2,J,9	2,7,J,M	2,5,9,J	2,J,6,M	3,J,M
<i>01:11</i>	18.5	16.3	14.5	18.2	19.3	19.8	15.8	19.0	19.5	17.6	13.0	11.1	14.0	14.7	12.8	3,J,M	3,J,M	2,5,J,M	3,4,J	3,K,M
<i>09:46</i>	15.4	16.7	16.2	17	16.2	19.3	16.4	17.8	17.3	20.4	15.0	13.2	13.4	11.8	15.6	3,J,M	3,J,M	2,J,M	2,5,J	3,J,M
<i>09:23</i>	19.8	16.9	16.6	19.2	16.7	19.3	18.9	18.3	20.3	20.0	14.3	14.1	14.3	15.3	15.6	2,I,M	3,J,M	3,4,J,M	3,J,M	3,J,M
<i>05:13</i>	15.9	16.4	16.3	17.6	16.6	18.3	16.4	20.2	19.8	17.8	14.0	13.1	16.2	14.8	13.3	2,9,J	3,J,M	2,J,M	3,4,J,M	2,9,J
<i>TEST</i>	18.1	12.6	11.6	16.6	14.8	17.3	16.5	15.3	20.5	13.8	14.0	12.7	12.1	15.5	8.8	3,J,M	3,J,M	3,K,M	3,J,M	2,K,9
<i>10:11</i>	17.6	15.6	16.5	19.3	14.9	20.8	18.2	20.8	24.3	18.0	15.0	13	16.3	15.8	14.0	2,J,M	2,J,M	3,J,M	2,J,M	L,J,M
<i>04:20</i>	15.2	16.7	15.3	19	15.9	18.8	20	19.3	21.3	21.1	15.0	15.5	14.3	15.3	15.6	3,J,M	2,4,J	3,4,J,M	3,J,M	3,J,M
<i>09:16</i>	16.5	14	16.7	18.7	16.2	19.3	19.2	17.8	21.2	24.6	14.0	13.2	13.8	16	17.6	3,J,M	3,9,J	6,3,J,M	2,6,J,M	3,J,M
<i>09:11</i>	18.2	16.4	18.0	14.8	17.7	20.3	22.8	19.3	18.3	21.0	15.0	15.9	14.3	13.3	14.7	3,J,M	3,7,J,M	2,J,M	4,J,M	L,I

2=POCO SINUOSO, 3=MUY SINUOSO, 4=TORCEDURA BASAL, 5=BIFURCADO, 6=INCLINADO, 7=ENFERMO, 8=CON PLAGAS, 9=COPA ASIMETRICA

I=DOMINANTE, J=CODOMINANTE, K=SUPRIMIDO, L=EJE RECTO SIN DEFECTOS DE FORMA, M=COPA CIRCULAR

ANEXO 3

MEDICIONES DE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO EN EL ÁRBOL EN PIE



Figura 1: Plantilla metálica



Figura 2: Ubicación de los clavos



Figura 3: Tensiómetro ubicado en árbol en pie

ANEXO 4

TUMBADO Y CODIFICACIÓN DE LOS ÁRBOLES SELECCIONADOS



Figura 1: Tumbado de los árboles seleccionados



Figura 2: Codificación de los árboles en base a su código clonal



Figura 3: Trozas listas para el traslado

ANEXO 5

DIMENSIONES DE LAS TROZAS SELECCIONADAS EN CADA PARCELA

PARCELA EXPERIMENTAL	ARBOL (ítem)	CÓDIGO CLONAL	DIÁMETRO MENOR (cm)	DIÁMETRO MAYOR (cm)	LARGO (m)	PARCELA EXPERIMENTAL	ARBOL (ítem)	CÓDIGO CLONAL	DIÁMETRO MENOR (cm)	DIÁMETRO MAYOR (cm)	LARGO (m)
I	1	04:20	13	17	0.8	IV	1	09:11	12	16	0.8
	2	05:13	15	17	0.8		2	07:01	16	19	0.8
	3	T	17	20	0.8		3	T	19	17	0.8
	4	09:11	17	19	0.8		4	09:46	16	20	0.8
	5	09:16	16	18	0.8		5	05:13	16	19	0.8
	6	09:46	16	17	0.8		6	01:11	16	19	0.8
	7	07:01	17	18	0.8		7	09:16	20	21	0.8
	8	01:11	17	20	0.8		8	04:20	19	22	0.8
	9	02:10	14	14	0.8		9	02:10	19	20	0.8
	10	10:11	16	19	0.8		10	09:23	17	19	0.8
	11	09:23	18	22	0.8		11	10:11	18	20	0.8
II	1	T	12	14	0.8	V	1	T	13	14	0.8
	2	09:16	13	15	0.8		2	10:11	15	15	0.8
	3	10:11	15	17	0.8		3	04:20	15	17	0.8
	4	01:11	15	17	0.8		4	09:16	15	17	0.8
	5	05:13	16	11	0.8		5	09:46	16	17	0.8
	6	04:20	17	18	0.8		6	05:13	16	18	0.8
	7	09:46	14	18	0.8		7	09:23	16	18	0.8
	8	09:23	17	18	0.8		8	07:01	17	21	0.8
	9	02:10	17	19	0.8		9	01:11	15	15	0.8
	10	07:01	18	21	0.8		10	09:11	18	19	0.8
	11	09:11	16	17	0.8		11	02:10	17	19	0.8
III	1	T	11	12	0.8						
	2	07:01	12	13	0.8						
	3	01:11	14	15	0.8						
	4	04:20	15	17	0.8						
	5	09:23	17	18	0.8						
	6	09:46	15	18	0.8						
	7	05:13	15	17	0.8						
	8	10:11	15	18	0.8						
	9	09:16	16	18	0.8						
	10	02:10	16	19	0.8						
	11	09:11	18	19	0.8						

ANEXO 6

PROBETAS CON SU RESPECTIVA CODIFICACIÓN



ANEXO 7

ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS



Figura 1: Pesaje y medición de las contracciones

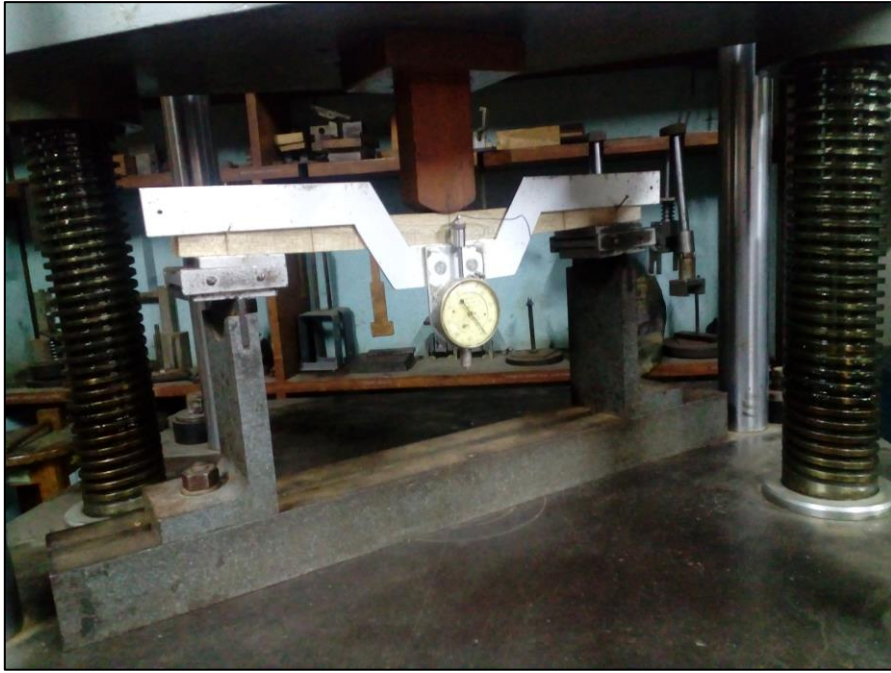


Figura 2: Ensayo de flexión estática



Figura 3: Ensayo de compresión paralela

ANEXO 8

ESTADÍSTICA DE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO

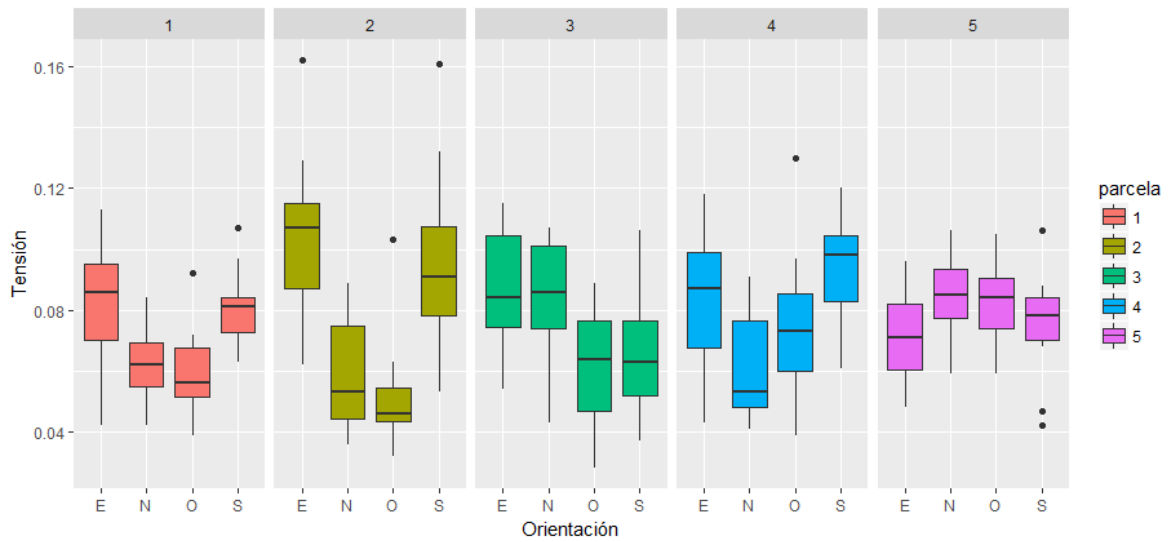


Diagrama de cajas para las tensiones de crecimiento (GSI) en relación a su orientación por parcela

```
mod<-lm(Tensión~Orientación+clon+parcela+parcela*Orientación)
> anova(mod)
Analysis of Variance Table

Response: Tensión
          Df  Sum Sq  Mean Sq F value    Pr(>F)
Orientación  3  0.014314  0.0047712  11.9897 3.180e-07 ***
clon        10  0.004289  0.0004289   1.0777  0.3812
parcela     4  0.002058  0.0005145   1.2929  0.2743
Orientación:parcela 12  0.026577  0.0022148   5.5655 3.906e-08 ***
Residuals   190  0.075609  0.0003979
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

ANEXO 9

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA LA EXCENTRICIDAD DELA MÉDULA Y LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO

Correlaciones

		EM (%)	GSI (mm)
EM (%)	Correlación de Pearson	1	-,197
	Sig. (bilateral)		,146
	N	56	56
GSI (mm)	Correlación de Pearson	-,197	1
	Sig. (bilateral)	,146	
	N	56	56

ANEXO 10

COEFICIENTES DE VARIACIÓN ESTABLECIDOS POR RUBIO (2002)

Coficiente de Variación (CV%)	Grado de Variabilidad
$0 < CV < 10$	Datos muy homogéneos
$10 \leq CV < 15$	Datos regularmente homogéneos
$15 \leq CV < 20$	Datos regularmente variables
$20 \leq CV < 25$	Datos variables
$CV \geq 25$	Datos muy variables

ANEXO 11

ANÁLISIS DE VARIANZA DE DENSIDAD BÁSICA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99233, p-value = 0.3169

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 2.927273, Df = 1, p = 0.087094

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table
Response: db^2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Code	10	0.023943	0.00239430	7.2729	1.880e-09	***
Plot	4	0.005665	0.00141626	4.3020	0.002467	**
Code:plot	40	0.046152	0.00115381	3.5048	9.632e-09	***
Residuals	162	0.053332	0.00032921			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
9.11	3	0.111	0.00907	162	0.0808	0.142	a
9.46	1	0.117	0.00907	162	0.0869	0.148	ab
9.11	4	0.119	0.00907	162	0.0888	0.15	abc
10.11	3	0.12	0.00907	162	0.0892	0.15	abc
7.1	1	0.123	0.00907	162	0.0927	0.154	abcd
1.11	2	0.124	0.00907	162	0.0934	0.155	abcd
2.1	4	0.132	0.00907	162	0.1016	0.163	abcde
1.11	4	0.133	0.00907	162	0.102	0.163	abcde
1.11	5	0.133	0.00907	162	0.1023	0.163	abcde
2.1	2	0.133	0.00907	162	0.1029	0.164	abcde
2.1	3	0.134	0.00907	162	0.1032	0.164	abcde
5.13	5	0.135	0.00907	162	0.1048	0.166	abcde
9.16	2	0.136	0.00907	162	0.1055	0.167	abcde
2.1	1	0.137	0.01048	162	0.1018	0.172	abcdef
9.46	4	0.137	0.00907	162	0.1066	0.168	abcde
9.16	4	0.137	0.00907	162	0.1069	0.168	abcde

4.2	3	0.138	0.00907	162	0.1077	0.169	abcdef
9.23	1	0.14	0.00907	162	0.1093	0.17	abcdef
10.11	2	0.14	0.00907	162	0.1095	0.171	abcdef
9.46	5	0.14	0.00907	162	0.1096	0.171	abcdef
1.11	3	0.14	0.00907	162	0.1099	0.171	abcdef
T	3	0.14	0.00907	162	0.1099	0.171	abcdef
9.16	3	0.141	0.00907	162	0.1102	0.171	abcdef
7.1	4	0.142	0.00907	162	0.1109	0.172	abcdef
9.46	3	0.142	0.00907	162	0.1114	0.173	abcdef
4.2	1	0.145	0.00907	162	0.114	0.175	abcdef
2.1	5	0.146	0.00907	162	0.1157	0.177	abcdef
9.16	5	0.147	0.00907	162	0.1163	0.177	abcdef
7.1	5	0.147	0.00907	162	0.1163	0.178	abcdef
4.2	4	0.147	0.00907	162	0.1169	0.178	abcdef
4.2	5	0.148	0.00907	162	0.117	0.178	abcdef
9.23	3	0.148	0.00907	162	0.1177	0.179	abcdef
5.13	2	0.15	0.00907	162	0.119	0.18	abcdef
5.13	3	0.15	0.00907	162	0.119	0.18	abcdef
4.2	2	0.152	0.00907	162	0.1213	0.182	abcdef
9.46	2	0.152	0.01283	162	0.1091	0.196	abcdef
1.11	1	0.156	0.00907	162	0.1249	0.186	abcdef
10.11	5	0.157	0.00907	162	0.1261	0.187	abcdef
9.11	2	0.158	0.00907	162	0.127	0.188	abcdef
5.13	4	0.159	0.00907	162	0.1282	0.189	abcdef
9.11	1	0.161	0.00907	162	0.1308	0.192	abcdef
7.1	3	0.164	0.00907	162	0.1333	0.195	abcdef
10.11	1	0.165	0.00907	162	0.1347	0.196	bcdef
9.11	5	0.168	0.00907	162	0.1375	0.199	bcdef
9.23	5	0.171	0.00907	162	0.1403	0.202	cdef
T	5	0.172	0.00907	162	0.1411	0.202	cdef
5.13	1	0.174	0.00907	162	0.1434	0.205	def
T	1	0.174	0.00907	162	0.1439	0.205	def
9.16	1	0.178	0.00907	162	0.1469	0.208	ef
T	4	0.178	0.00907	162	0.1478	0.209	ef
10.11	4	0.178	0.00907	162	0.1479	0.209	ef
9.23	2	0.179	0.00907	162	0.1486	0.21	ef
T	2	0.181	0.00907	162	0.1501	0.211	ef
7.1	2	0.181	0.00907	162	0.1506	0.212	ef
9.23	4	0.19	0.00907	162	0.1599	0.221	f

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 12

ANÁLISIS DE VARIANZA DE DENSIDAD SATURADA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99196, p-value = 0.279

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 2.193813, Df = 1, p = 0.13857

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: dsat^3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	0.24761	0.0247611	8.5619	3.77E-11	***
plot	4	0.03322	0.0083045	2.8715	0.02477	*
code:plot	40	0.33245	0.0083112	2.8738	1.47E-06	***
Residuals	162	0.46851	0.002892			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
9.11	4	0.267	0.0269	162	0.177	0.358	a
9.46	1	0.273	0.0269	162	0.182	0.364	ab
7.1	5	0.276	0.0269	162	0.185	0.367	ab
4.2	5	0.284	0.0269	162	0.194	0.375	ab
1.11	2	0.288	0.0269	162	0.198	0.379	ab
2.1	1	0.296	0.031	162	0.191	0.4	abcde
10.11	3	0.297	0.0269	162	0.206	0.388	ab
1.11	5	0.301	0.0269	162	0.21	0.391	abc
5.13	5	0.302	0.0269	162	0.212	0.393	abcd
9.23	1	0.312	0.0269	162	0.221	0.403	abcde
10.11	2	0.313	0.0269	162	0.222	0.403	abcde
2.1	2	0.314	0.0269	162	0.224	0.405	abcde
9.11	3	0.315	0.0269	162	0.224	0.405	abcde
2.1	3	0.315	0.0269	162	0.225	0.406	abcde
2.1	4	0.316	0.0269	162	0.225	0.406	abcde
9.11	5	0.325	0.0269	162	0.234	0.416	abcdef
5.13	2	0.331	0.0269	162	0.24	0.421	abcdef

9.16	3	0.331	0.0269	162	0.24	0.422	abcdef
1.11	1	0.332	0.0269	162	0.242	0.423	abcdef
9.46	4	0.333	0.0269	162	0.243	0.424	abcdef
7.1	4	0.335	0.0269	162	0.244	0.426	abcdef
7.1	1	0.335	0.0269	162	0.244	0.426	abcdef
10.11	1	0.341	0.0269	162	0.25	0.431	abcdefg
9.16	5	0.341	0.0269	162	0.25	0.432	abcdefg
9.16	4	0.341	0.0269	162	0.25	0.432	abcdefg
9.46	5	0.341	0.0269	162	0.25	0.432	abcdefg
1.11	4	0.344	0.0269	162	0.253	0.434	abcdefg
4.2	3	0.35	0.0269	162	0.26	0.441	abcdefg
1.11	3	0.351	0.0269	162	0.26	0.441	abcdefg
4.2	1	0.357	0.0269	162	0.266	0.447	abcdefg
4.2	4	0.359	0.0269	162	0.268	0.449	abcdefg
7.1	3	0.364	0.0269	162	0.274	0.455	abcdefg
10.11	5	0.367	0.0269	162	0.276	0.458	abcdefg
5.13	4	0.367	0.0269	162	0.277	0.458	abcdefg
2.1	5	0.368	0.0269	162	0.277	0.458	abcdefg
9.46	2	0.369	0.038	162	0.241	0.498	abcdefg
9.46	3	0.372	0.0269	162	0.281	0.463	abcdefg
T	3	0.374	0.0269	162	0.283	0.464	abcdefg
9.23	5	0.374	0.0269	162	0.284	0.465	abcdefg
9.23	3	0.376	0.0269	162	0.285	0.467	abcdefg
5.13	3	0.38	0.0269	162	0.29	0.471	abcdefg
9.11	1	0.383	0.0269	162	0.292	0.474	abcdefg
9.16	2	0.384	0.0269	162	0.293	0.475	abcdefg
9.11	2	0.386	0.0269	162	0.295	0.476	abcdefg
10.11	4	0.388	0.0269	162	0.298	0.479	abcdefg
4.2	2	0.396	0.0269	162	0.305	0.487	abcdefg
9.16	1	0.412	0.0269	162	0.321	0.502	abcdefg
5.13	1	0.412	0.0269	162	0.322	0.503	abcdefg
T	1	0.424	0.0269	162	0.334	0.515	bcdefg
9.23	2	0.454	0.0269	162	0.363	0.545	cdefg
T	2	0.459	0.0269	162	0.368	0.549	defg
9.23	4	0.464	0.0269	162	0.373	0.554	efg
T	4	0.464	0.0269	162	0.373	0.555	efg
7.1	2	0.474	0.0269	162	0.383	0.565	fg
T	5	0.493	0.0269	162	0.402	0.583	g

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 13

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DENSIDAD ANHIDRA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99377, p-value = 0.5018

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 4.349169, Df = 1, p = 0.057027

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: do

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	0.062709	0.0062709	7.7442	4.43E-10	***
plot	4	0.013581	0.0033954	4.1931	0.002944	**
code:plot	40	0.107219	0.0026805	3.3102	4.51E-08	***
Residuals	162	0.131181	0.0008098			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
9.11	3	0.365	0.0142	162	0.317	0.413	a
10.11	3	0.377	0.0142	162	0.329	0.425	ab
9.11	4	0.378	0.0142	162	0.33	0.426	abc
9.46	1	0.38	0.0142	162	0.332	0.428	abcd
1.11	2	0.382	0.0142	162	0.334	0.43	abcde
7.1	1	0.383	0.0142	162	0.335	0.43	abcde
2.1	2	0.396	0.0142	162	0.348	0.444	abcdef
1.11	4	0.397	0.0142	162	0.349	0.445	abcdef
2.1	4	0.398	0.0142	162	0.35	0.446	abcdef
1.11	5	0.399	0.0142	162	0.351	0.447	abcdefg
2.1	3	0.399	0.0142	162	0.352	0.447	abcdefg
5.13	5	0.401	0.0142	162	0.353	0.449	abcdefg
2.1	1	0.405	0.0164	162	0.35	0.46	abcdefgh
9.46	4	0.407	0.0142	162	0.359	0.455	abcdefgh
9.16	4	0.407	0.0142	162	0.359	0.455	abcdefgh
T	3	0.408	0.0142	162	0.36	0.456	abcdefgh
9.16	2	0.408	0.0142	162	0.36	0.456	abcdefgh

10.11	2	0.409	0.0142	162	0.361	0.457	abcdefgh
1.11	3	0.41	0.0142	162	0.362	0.458	abcdefgh
7.1	4	0.411	0.0142	162	0.363	0.459	abcdefgh
9.46	5	0.412	0.0142	162	0.364	0.46	abcdefgh
9.16	3	0.412	0.0142	162	0.364	0.46	abcdefgh
9.46	3	0.413	0.0142	162	0.365	0.461	abcdefgh
4.2	3	0.414	0.0142	162	0.366	0.462	abcdefgh
9.23	1	0.416	0.0142	162	0.368	0.464	abcdefgh
4.2	5	0.416	0.0142	162	0.368	0.464	abcdefgh
9.16	5	0.417	0.0142	162	0.369	0.465	abcdefgh
2.1	5	0.418	0.0142	162	0.37	0.466	abcdefgh
7.1	5	0.418	0.0142	162	0.37	0.466	abcdefgh
5.13	2	0.418	0.0142	162	0.37	0.466	abcdefgh
4.2	1	0.419	0.0142	162	0.371	0.467	abcdefgh
5.13	3	0.421	0.0142	162	0.373	0.469	abcdefgh
4.2	4	0.424	0.0142	162	0.376	0.472	abcdefgh
9.23	3	0.424	0.0142	162	0.376	0.472	abcdefgh
4.2	2	0.425	0.0142	162	0.377	0.473	abcdefgh
1.11	1	0.432	0.0142	162	0.385	0.48	abcdefgh
9.46	2	0.434	0.0201	162	0.366	0.502	abcdefgh
10.11	5	0.436	0.0142	162	0.388	0.484	abcdefgh
9.11	2	0.436	0.0142	162	0.388	0.484	abcdefgh
10.11	1	0.44	0.0142	162	0.392	0.488	abcdefgh
9.11	1	0.444	0.0142	162	0.396	0.492	abcdefgh
7.1	3	0.446	0.0142	162	0.398	0.494	abcdefgh
9.11	5	0.449	0.0142	162	0.401	0.497	bcdefgh
5.13	4	0.454	0.0142	162	0.406	0.502	bcdefgh
5.13	1	0.459	0.0142	162	0.411	0.507	bcdefgh
9.23	5	0.46	0.0142	162	0.412	0.508	cdefgh
9.16	1	0.461	0.0142	162	0.413	0.509	defgh
T	5	0.464	0.0142	162	0.416	0.512	efgh
T	4	0.466	0.0142	162	0.418	0.514	fgh
T	1	0.466	0.0142	162	0.418	0.514	fgh
10.11	4	0.468	0.0142	162	0.42	0.516	fgh
7.1	2	0.471	0.0142	162	0.423	0.519	fgh
9.23	2	0.474	0.0142	162	0.426	0.522	fgh
T	2	0.482	0.0142	162	0.434	0.53	gh
9.23	4	0.487	0.0142	162	0.439	0.535	h

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 14

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DENSIDAD SECA AL AIRE

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99409, p-value = 0.5508

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.5410156, Df = 1, p = 0.46201

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: deq^3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	0.029918	0.00299181	9.6592	1.52E-12	***
plot	4	0.009006	0.00225157	7.2693	2.08E-05	***
code:plot	40	0.046657	0.00116642	3.7658	1.23E-09	***
Residuals	162	0.050177	0.00030974			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
9.11	3	0.064	0.0088	162	0.0343	0.0936	a
10.11	3	0.0695	0.0088	162	0.0398	0.0992	ab
9.11	4	0.0713	0.0088	162	0.0416	0.101	ab
9.46	1	0.0713	0.0088	162	0.0416	0.101	ab
1.11	2	0.0737	0.0088	162	0.0441	0.1034	ab
7.1	1	0.0755	0.0088	162	0.0458	0.1052	ab
2.1	3	0.0807	0.0088	162	0.051	0.1103	abc
2.1	4	0.0809	0.0088	162	0.0513	0.1106	abc
1.11	5	0.0813	0.0088	162	0.0516	0.1109	abc
2.1	2	0.0814	0.0088	162	0.0518	0.1111	abc
1.11	4	0.0816	0.0088	162	0.0519	0.1113	abc
5.13	5	0.0833	0.0088	162	0.0536	0.113	abcd
4.2	3	0.086	0.0088	162	0.0563	0.1157	abcd
9.46	4	0.0873	0.0088	162	0.0576	0.117	abcd
10.11	2	0.0874	0.0088	162	0.0577	0.117	abcd
9.16	2	0.0877	0.0088	162	0.058	0.1174	abcd
T	3	0.088	0.0088	162	0.0583	0.1176	abcd
9.16	4	0.0887	0.0088	162	0.059	0.1183	abcd

9.16	3	0.0887	0.0088	162	0.059	0.1184	abcd
2.1	1	0.0888	0.0102	162	0.0545	0.1231	abcde
9.46	5	0.0888	0.0088	162	0.0591	0.1185	abcd
1.11	3	0.0895	0.0088	162	0.0598	0.1192	abcd
7.1	4	0.0902	0.0088	162	0.0605	0.1199	abcd
9.46	3	0.0907	0.0088	162	0.061	0.1204	abcd
7.1	5	0.0925	0.0088	162	0.0629	0.1222	abcd
9.23	1	0.0929	0.0088	162	0.0632	0.1226	abcde
9.16	5	0.0933	0.0088	162	0.0636	0.123	abcdef
2.1	5	0.0934	0.0088	162	0.0637	0.1231	abcdef
5.13	2	0.0944	0.0088	162	0.0647	0.1241	abcdef
4.2	5	0.0957	0.0088	162	0.066	0.1254	abcdef
5.13	3	0.0958	0.0088	162	0.0662	0.1255	abcdef
9.23	3	0.0987	0.0088	162	0.0691	0.1284	abcdef
4.2	2	0.101	0.0088	162	0.0713	0.1307	abcdef
4.2	4	0.1027	0.0088	162	0.073	0.1323	abcdef
4.2	1	0.1031	0.0088	162	0.0734	0.1327	abcdef
9.46	2	0.1047	0.0124	162	0.0627	0.1466	abcdef
7.1	3	0.105	0.0088	162	0.0754	0.1347	abcdef
9.11	2	0.1055	0.0088	162	0.0759	0.1352	abcdef
10.11	5	0.1061	0.0088	162	0.0764	0.1358	abcdef
5.13	4	0.1064	0.0088	162	0.0767	0.136	abcdef
1.11	1	0.1065	0.0088	162	0.0768	0.1362	abcdef
9.11	1	0.1142	0.0088	162	0.0846	0.1439	abcdef
10.11	1	0.1144	0.0088	162	0.0847	0.1441	abcdef
9.11	5	0.1166	0.0088	162	0.0869	0.1462	bcdef
9.23	5	0.1185	0.0088	162	0.0888	0.1482	bcdef
T	5	0.1271	0.0088	162	0.0974	0.1568	cdef
9.16	1	0.1281	0.0088	162	0.0984	0.1578	cdef
5.13	1	0.1287	0.0088	162	0.099	0.1584	cdef
T	4	0.1296	0.0088	162	0.0999	0.1593	cdef
10.11	4	0.1299	0.0088	162	0.1002	0.1596	cdef
7.1	2	0.1309	0.0088	162	0.1012	0.1606	cdef
T	1	0.1319	0.0088	162	0.1022	0.1616	cdef
9.23	2	0.1333	0.0088	162	0.1037	0.163	def
T	2	0.144	0.0088	162	0.1144	0.1737	ef
9.23	4	0.1445	0.0088	162	0.1149	0.1742	f

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 15

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONTRACCIÓN RADIAL

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99236, p-value = 0.3234

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 1.629681, Df = 1, p = 0.20175

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: log(CRAD)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	0.51266	0.051266	3.7165	0.0001675	***
plot	4	0.14206	0.035515	2.5747	0.0396906	*
code:plot	40	1.48863	0.037216	2.6979	6.11E-06	***
Residuals	161	2.22086	0.013794			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

e) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
T	3	0.856	0.0587	161	0.658	1.05	a
2.1	4	0.897	0.0587	161	0.699	1.09	ab
7.1	1	0.942	0.0587	161	0.744	1.14	abc
9.11	3	0.953	0.0587	161	0.755	1.15	abc
7.1	5	0.973	0.0587	161	0.775	1.17	abc
9.16	5	0.973	0.0587	161	0.775	1.17	abc
1.11	4	0.973	0.0587	161	0.775	1.17	abc
9.46	1	0.982	0.0587	161	0.784	1.18	abc
1.11	2	0.989	0.0587	161	0.791	1.19	abcd
9.46	4	1.006	0.0587	161	0.808	1.2	abcd
2.1	3	1.013	0.0587	161	0.815	1.21	abcd
9.16	3	1.015	0.0587	161	0.817	1.21	abcd
2.1	2	1.037	0.0587	161	0.839	1.24	abcd
9.46	3	1.043	0.0587	161	0.845	1.24	abcd
1.11	1	1.05	0.0587	161	0.852	1.25	abcd
10.11	1	1.065	0.0587	161	0.867	1.26	abcd
5.13	3	1.07	0.0587	161	0.872	1.27	abcd
10.11	3	1.073	0.0587	161	0.875	1.27	abcd
2.1	1	1.074	0.0678	161	0.846	1.3	abcd

9.11	2	1.08	0.0587	161	0.882	1.28	abcd
7.1	4	1.088	0.0587	161	0.89	1.29	abcd
9.46	5	1.088	0.0587	161	0.89	1.29	abcd
9.11	5	1.091	0.0587	161	0.893	1.29	abcd
5.13	5	1.1	0.0587	161	0.902	1.3	abcd
10.11	5	1.106	0.0587	161	0.908	1.3	abcd
9.16	4	1.108	0.0587	161	0.91	1.31	abcd
4.2	5	1.113	0.0587	161	0.915	1.31	abcd
9.16	1	1.114	0.0587	161	0.916	1.31	abcd
2.1	5	1.133	0.0587	161	0.935	1.33	abcd
9.23	3	1.134	0.0587	161	0.936	1.33	abcd
T	2	1.135	0.0587	161	0.937	1.33	abcd
9.16	2	1.138	0.0587	161	0.94	1.34	abcd
T	4	1.141	0.0587	161	0.942	1.34	abcd
4.2	4	1.142	0.0587	161	0.944	1.34	abcd
9.23	5	1.146	0.0587	161	0.948	1.34	abcd
9.23	1	1.151	0.0587	161	0.953	1.35	abcd
9.11	1	1.161	0.0587	161	0.963	1.36	abcd
10.11	4	1.165	0.0587	161	0.967	1.36	abcd
T	1	1.166	0.0587	161	0.968	1.36	abcd
9.23	4	1.166	0.0587	161	0.968	1.36	abcd
5.13	4	1.167	0.0587	161	0.969	1.36	abcd
4.2	2	1.168	0.0587	161	0.97	1.37	abcd
1.11	5	1.169	0.0678	161	0.94	1.4	abcd
4.2	3	1.17	0.0587	161	0.972	1.37	abcd
10.11	2	1.18	0.0587	161	0.982	1.38	abcd
7.1	3	1.19	0.0587	161	0.992	1.39	abcd
9.46	2	1.194	0.083	161	0.914	1.47	abcd
9.11	4	1.226	0.0587	161	1.028	1.42	bcd
5.13	2	1.228	0.0587	161	1.03	1.43	bcd
T	5	1.244	0.0587	161	1.046	1.44	cd
7.1	2	1.249	0.0587	161	1.051	1.45	cd
1.11	3	1.251	0.0587	161	1.053	1.45	cd
4.2	1	1.268	0.0587	161	1.07	1.47	cd
9.23	2	1.284	0.0587	161	1.086	1.48	cd
5.13	1	1.33	0.0587	161	1.132	1.53	d

Results are given on the log (not the response) scale.

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 16

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONTRACCIÓN TANGENCIAL

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.98919, p-value = 0.1041

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.8090714, Df = 1, p = 0.36839

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: CTAN

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	32.749	3.2749	10.8129	6.05E-14	***
plot	4	3.933	0.9833	3.2466	0.0136	*
code:plot	40	33.267	0.8317	2.746	4.17E-06	***
Residuals	161	48.762	0.3029			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

f) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
5.13	2	4.76	0.275	161	3.84	5.69	a
9.11	4	4.94	0.275	161	4.01	5.87	ab
4.2	5	4.99	0.275	161	4.07	5.92	ab
5.13	5	5.02	0.275	161	4.09	5.95	ab
T	3	5.17	0.275	161	4.24	6.1	abc
10.11	2	5.19	0.275	161	4.26	6.11	abcd
7.1	5	5.21	0.275	161	4.28	6.14	abcd
5.13	4	5.26	0.275	161	4.34	6.19	abcd
5.13	3	5.28	0.275	161	4.35	6.21	abcd
7.1	1	5.38	0.275	161	4.46	6.31	abcd
1.11	5	5.4	0.318	161	4.33	6.47	abcde
2.1	4	5.47	0.275	161	4.54	6.39	abcde
9.16	5	5.5	0.275	161	4.58	6.43	abcde
2.1	2	5.53	0.275	161	4.6	6.46	abcde
9.46	2	5.53	0.389	161	4.22	6.84	abcdefgh
9.46	1	5.55	0.275	161	4.62	6.48	abcdef
1.11	4	5.57	0.275	161	4.64	6.5	abcdef
9.16	3	5.62	0.275	161	4.69	6.55	abcdef

10.11	5	5.62	0.275	161	4.7	6.55	abcdef
1.11	3	5.64	0.275	161	4.71	6.57	abcdefg
1.11	2	5.66	0.275	161	4.73	6.59	abcdefg
2.1	3	5.69	0.275	161	4.76	6.62	abcdefg
9.46	5	5.72	0.275	161	4.8	6.65	abcdefgh
1.11	1	5.75	0.275	161	4.82	6.68	abcdefgh
7.1	3	5.77	0.275	161	4.84	6.7	abcdefgh
2.1	5	5.78	0.275	161	4.85	6.71	abcdefgh
9.46	4	5.79	0.275	161	4.86	6.72	abcdefgh
9.16	1	5.79	0.275	161	4.86	6.72	abcdefgh
4.2	3	5.8	0.275	161	4.87	6.73	abcdefgh
9.11	1	5.81	0.275	161	4.88	6.73	abcdefgh
10.11	3	5.84	0.275	161	4.91	6.77	abcdefgh
9.16	4	5.86	0.275	161	4.94	6.79	abcdefgh
10.11	1	5.9	0.275	161	4.97	6.83	abcdefgh
9.46	3	5.92	0.275	161	4.99	6.85	abcdefgh
7.1	4	5.96	0.275	161	5.03	6.89	abcdefgh
4.2	1	6	0.275	161	5.08	6.93	abcdefgh
5.13	1	6.06	0.275	161	5.14	6.99	abcdefgh
9.11	5	6.08	0.275	161	5.16	7.01	abcdefgh
4.2	2	6.12	0.275	161	5.19	7.04	abcdefgh
2.1	1	6.14	0.318	161	5.07	7.21	abcdefgh
9.11	3	6.15	0.275	161	5.22	7.07	abcdefgh
9.23	3	6.18	0.275	161	5.25	7.11	abcdefgh
9.11	2	6.19	0.275	161	5.26	7.12	abcdefgh
7.1	2	6.19	0.275	161	5.26	7.12	abcdefgh
4.2	4	6.27	0.275	161	5.34	7.2	abcdefgh
10.11	4	6.39	0.275	161	5.46	7.31	bcdefgh
9.23	5	6.41	0.275	161	5.48	7.33	bcdefgh
9.23	1	6.44	0.275	161	5.52	7.37	bcdefgh
9.23	4	6.51	0.275	161	5.58	7.44	bcdefgh
9.16	2	6.66	0.275	161	5.73	7.59	cdefgh
T	4	6.78	0.275	161	5.85	7.71	defgh
T	5	7.02	0.275	161	6.09	7.95	efgh
9.23	2	7.15	0.275	161	6.22	8.07	fgh
T	2	7.24	0.275	161	6.31	8.17	gh
T	1	7.31	0.275	161	6.39	8.24	h

Results are given on the log (not the response) scale.

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 17

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99015, p-value = 0.1504

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.0052147, Df = 1, p = 0.94243

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: CVOL

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	37.179	3.7179	9.9712	6.73E-13	***
plot	4	9.601	2.4001	6.437	7.91E-05	***
code:plot	40	59.559	1.489	3.9933	2.31E-10	***
Residuals	160	59.658	0.3729			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

g) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
T	3	7.46	0.305	160	6.43	8.48	a
7.1	5	7.78	0.305	160	6.75	8.81	ab
2.1	4	7.86	0.305	160	6.83	8.89	abc
7.1	1	7.91	0.305	160	6.88	8.94	abcd
5.13	5	7.94	0.305	160	6.91	8.97	abcde
4.2	5	7.96	0.305	160	6.93	8.99	abcde
4.2	3	8.06	0.353	160	6.87	9.25	abcdef
9.16	5	8.07	0.305	160	7.04	9.1	abcdef
5.13	3	8.1	0.305	160	7.07	9.13	abcdef
5.13	2	8.1	0.305	160	7.07	9.13	abcdef
9.46	1	8.12	0.305	160	7.09	9.15	abcdef
1.11	4	8.14	0.305	160	7.11	9.17	abcdef
9.11	4	8.26	0.305	160	7.23	9.29	abcdef
2.1	2	8.26	0.305	160	7.23	9.29	abcdef
1.11	2	8.27	0.305	160	7.24	9.3	abcdef
9.16	3	8.27	0.305	160	7.24	9.3	abcdef
10.11	2	8.34	0.305	160	7.31	9.37	abcdef

2.1	3	8.35	0.305	160	7.32	9.38	abcdef
5.13	4	8.37	0.305	160	7.34	9.4	abcdef
9.46	4	8.43	0.305	160	7.4	9.46	abcdefg
1.11	1	8.5	0.305	160	7.47	9.53	abcdefg
10.11	5	8.54	0.305	160	7.51	9.57	abcdefg
1.11	5	8.58	0.353	160	7.39	9.77	abcdefgh
9.46	5	8.6	0.305	160	7.57	9.63	abcdefgh
9.11	3	8.65	0.305	160	7.62	9.68	abcdefgh
10.11	3	8.66	0.305	160	7.63	9.69	abcdefgh
9.46	3	8.66	0.305	160	7.63	9.69	abcdefgh
10.11	1	8.71	0.305	160	7.68	9.74	abcdefgh
9.16	1	8.73	0.305	160	7.7	9.76	abcdefgh
9.46	2	8.73	0.432	160	7.27	10.19	abcdefghi
2.1	5	8.8	0.305	160	7.78	9.83	abcdefghi
9.16	4	8.81	0.305	160	7.78	9.84	abcdefghi
7.1	4	8.82	0.305	160	7.79	9.85	abcdefghi
9.11	1	8.87	0.305	160	7.84	9.9	abcdefghi
9.11	5	8.94	0.305	160	7.91	9.97	abcdefghi
2.1	1	8.94	0.353	160	7.75	10.13	abcdefghi
7.1	3	8.98	0.305	160	7.95	10.01	abcdefghi
9.11	2	9.02	0.305	160	7.99	10.05	abcdefghi
1.11	3	9.03	0.305	160	8	10.06	abcdefghi
9.23	3	9.16	0.305	160	8.13	10.19	abcdefghi
4.2	2	9.19	0.305	160	8.16	10.22	abcdefghi
4.2	4	9.28	0.305	160	8.25	10.31	bcdefghi
9.23	5	9.41	0.305	160	8.39	10.44	bcdefghi
4.2	1	9.43	0.305	160	8.4	10.46	bcdefghi
10.11	4	9.45	0.305	160	8.42	10.48	bcdefghi
9.23	1	9.47	0.305	160	8.44	10.5	bcdefghi
7.1	2	9.52	0.305	160	8.49	10.55	bcdefghi
9.23	4	9.57	0.305	160	8.54	10.6	cdefghi
9.16	2	9.64	0.305	160	8.61	10.67	defghi
5.13	1	9.7	0.305	160	8.67	10.73	efghi
T	4	9.76	0.305	160	8.73	10.79	fghi
T	2	10.19	0.305	160	9.16	11.22	ghi
T	5	10.32	0.305	160	9.29	11.35	hi
T	1	10.35	0.305	160	9.32	11.38	hi
9.23	2	10.56	0.305	160	9.53	11.59	i

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 18

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL COEFICIENTE DE ANISOTROPÍA (T/R)

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99028, p-value = 0.1674

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.2077728, Df = 1, p = 0.64852

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: TR^2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	66.828	6.6828	6.2366	5.37E-08	***
plot	4	6.646	1.6614	1.5504	0.1903366	
code:plot	40	95.161	2.379	2.2202	0.0002742	***
Residuals	156	167.162	1.0716			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

h) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
9.11	4	0.954	0.598	156	-1.063	2.97	a
5.13	2	2.141	0.518	156	0.394	3.89	ab
5.13	5	2.261	0.518	156	0.514	4.01	abc
10.11	2	2.597	0.518	156	0.851	4.34	abcd
5.13	1	2.665	0.518	156	0.918	4.41	abcd
5.13	4	2.681	0.518	156	0.934	4.43	abcde
4.2	5	2.718	0.518	156	0.972	4.47	abcde
9.46	2	2.798	0.732	156	0.327	5.27	abcdef
1.11	3	2.873	0.518	156	1.126	4.62	abcde
4.2	2	2.935	0.518	156	1.188	4.68	abcdef
4.2	1	3.009	0.518	156	1.262	4.76	abcdef
1.11	5	3.151	0.598	156	1.134	5.17	abcdef
7.1	2	3.17	0.518	156	1.424	4.92	abcdef
7.1	3	3.178	0.518	156	1.432	4.92	abcdef
9.11	1	3.22	0.518	156	1.473	4.97	abcdef
4.2	3	3.27	0.598	156	1.253	5.29	abcdef
5.13	3	3.344	0.518	156	1.597	5.09	abcdef
10.11	5	3.501	0.518	156	1.754	5.25	abcdef

2.1	4	3.58	0.598	156	1.563	5.6	abcdef
2.1	5	3.689	0.518	156	1.942	5.44	abcdef
9.16	1	3.714	0.518	156	1.967	5.46	abcdef
2.1	2	3.854	0.518	156	2.107	5.6	abcdef
9.46	5	3.884	0.518	156	2.138	5.63	abcdef
7.1	5	3.953	0.518	156	2.206	5.7	abcdef
9.23	2	3.965	0.518	156	2.218	5.71	abcdef
10.11	4	4.002	0.518	156	2.255	5.75	abcdef
1.11	1	4.075	0.518	156	2.328	5.82	abcdef
7.1	4	4.114	0.518	156	2.368	5.86	abcdef
10.11	3	4.157	0.518	156	2.41	5.9	abcdef
9.16	3	4.166	0.518	156	2.419	5.91	abcdef
9.23	4	4.168	0.518	156	2.421	5.91	abcdef
T	5	4.18	0.518	156	2.433	5.93	abcdef
9.23	5	4.185	0.518	156	2.439	5.93	abcdef
4.2	4	4.208	0.518	156	2.461	5.95	abcdef
9.11	5	4.224	0.518	156	2.477	5.97	bcdef
9.23	3	4.237	0.518	156	2.49	5.98	bcdef
9.16	4	4.25	0.518	156	2.503	6	bcdef
9.46	1	4.311	0.518	156	2.565	6.06	bcdef
2.1	3	4.332	0.518	156	2.585	6.08	bcdef
1.11	2	4.391	0.518	156	2.644	6.14	bcdef
9.23	1	4.436	0.518	156	2.689	6.18	bcdef
9.11	2	4.45	0.518	156	2.703	6.2	bcdef
2.1	1	4.451	0.598	156	2.434	6.47	bcdef
1.11	4	4.47	0.518	156	2.723	6.22	bcdef
9.46	3	4.471	0.518	156	2.724	6.22	bcdef
9.46	4	4.483	0.518	156	2.736	6.23	bcdef
10.11	1	4.559	0.518	156	2.812	6.31	bcdef
9.16	5	4.598	0.598	156	2.581	6.62	bcdef
T	4	4.693	0.518	156	2.946	6.44	bcdef
9.16	2	4.718	0.518	156	2.971	6.46	bcdef
T	3	4.862	0.518	156	3.116	6.61	bcdef
T	1	5.246	0.518	156	3.499	6.99	cdef
T	2	5.423	0.518	156	3.676	7.17	def
9.11	3	5.699	0.518	156	3.952	7.45	ef
7.1	1	6.161	0.598	156	4.144	8.18	f

Confidence level used: 0.95.

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 19

ANÁLISIS DE VARIANZA DE ELP EN FEXIÓN ESTÁTICA

a) Normalidad

```

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99596, p-value = 0.8476
    
```

b) Homogeneidad de variancias

```

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 1.62457, Df = 1, p = 0.20246
    
```

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

```

Analysis of Variance Table

Response: ELP
      Df  Sum Sq  Mean Sq  F value  Pr(>F)
code   10   29194   2919.4   4.3661  2.04E-05 ***
plot    4   27939   6984.8  10.446  1.53E-07 ***
code:plot 40  94332   2358.3   3.5269  8.74E-09 ***
Residuals 160 106985   668.7
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
    
```

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
5.13	4	159	12.9	160	115	203	a
9.46	4	168	12.9	160	125	212	ab
9.11	3	169	12.9	160	126	213	ab
9.46	1	170	12.9	160	127	214	ab
2.1	4	172	12.9	160	128	215	ab
4.2	2	176	12.9	160	133	220	abc
4.2	1	177	12.9	160	133	221	abcd
7.1	4	179	12.9	160	135	223	abcd
9.11	4	182	12.9	160	138	226	abcd
7.1	1	186	12.9	160	142	229	abcde
1.11	4	188	12.9	160	144	231	abcde
2.1	1	195	14.9	160	144	245	abcdef
9.46	3	198	14.9	160	147	248	abcdef
T	1	198	12.9	160	154	242	abcdef
9.16	5	199	12.9	160	155	242	abcdef
1.11	3	200	12.9	160	156	243	abcdef
9.23	3	200	12.9	160	157	244	abcdef
9.46	5	201	12.9	160	158	245	abcdef

9.16	4	202	12.9	160	159	246	abcdef
9.11	2	203	12.9	160	160	247	abcdef
9.46	2	203	18.3	160	142	265	abcdef
T	3	205	14.9	160	155	256	abcdef
T	4	208	12.9	160	164	251	abcdef
10.11	4	209	12.9	160	165	252	abcdef
9.16	2	210	12.9	160	166	253	abcdef
4.2	4	212	12.9	160	168	255	abcdef
10.11	3	212	12.9	160	169	256	abcdef
9.23	5	213	12.9	160	170	257	abcdef
2.1	5	214	12.9	160	171	258	abcdef
4.2	5	214	12.9	160	171	258	abcdef
T	5	215	12.9	160	172	259	abcdef
5.13	1	217	12.9	160	174	261	abcdef
9.16	3	222	12.9	160	178	266	abcdef
5.13	3	225	12.9	160	182	269	abcdef
10.11	5	226	12.9	160	182	270	abcdef
2.1	2	228	12.9	160	185	272	abcdef
1.11	5	228	12.9	160	185	272	abcdef
9.11	1	232	12.9	160	188	275	abcdef
9.23	2	232	12.9	160	188	275	abcdef
5.13	5	235	12.9	160	192	279	bcdef
5.13	2	235	12.9	160	192	279	bcdef
T	2	236	12.9	160	192	279	bcdef
1.11	1	236	12.9	160	193	280	bcdef
9.23	4	237	12.9	160	193	280	bcdef
1.11	2	239	12.9	160	195	282	bcdef
2.1	3	239	12.9	160	195	283	bcdef
7.1	2	240	12.9	160	196	283	bcdef
4.2	3	240	12.9	160	196	284	bcdef
9.23	1	240	12.9	160	197	284	bcdef
10.11	2	249	12.9	160	205	293	cdef
9.11	5	250	12.9	160	207	294	cdef
9.16	1	252	12.9	160	209	296	def
7.1	5	259	12.9	160	216	303	ef
7.1	3	263	12.9	160	220	307	f
10.11	1	268	12.9	160	225	312	f

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 20

ANÁLISIS DE VARIANZA DE MOR EN FEXIÓN ESTÁTICA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.98898, p-value = 0.09799

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.03568623, Df = 1, p = 0.85016

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: MOR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	58763	5876	1.4184	0.176404	
plot	4	315905	78976	19.0634	7.72E-13	***
code:plot	40	310223	7756	1.8721	0.003457	**
Residuals	160	662850	4143			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
2.1	1	284	37.2	160	159	410	ab
9.11	3	284	32.2	160	176	393	a
1.11	3	312	32.2	160	203	420	abc
9.46	1	314	32.2	160	206	423	abc
5.13	4	318	32.2	160	210	427	abc
4.2	1	319	32.2	160	210	428	abc
9.46	3	332	37.2	160	207	457	abc
9.16	4	338	32.2	160	229	446	abc
10.11	3	342	32.2	160	234	451	abc
9.46	4	345	32.2	160	236	453	abc
7.1	4	345	32.2	160	236	453	abc
7.1	1	345	32.2	160	237	454	abc
T	1	346	32.2	160	238	455	abc
9.23	3	356	32.2	160	248	465	abcd
9.11	4	361	32.2	160	252	470	abcd
2.1	4	363	32.2	160	255	472	abcd
4.2	2	374	32.2	160	266	483	abcd
1.11	4	375	32.2	160	267	484	abcd
5.13	3	381	32.2	160	272	489	abcd
T	3	381	37.2	160	256	507	abcd

T	4	383	32.2	160	274	492	abcd
9.16	2	388	32.2	160	279	496	abcd
9.16	3	398	32.2	160	289	506	abcd
9.11	1	401	32.2	160	292	509	abcd
4.2	4	407	32.2	160	299	516	abcd
9.23	1	408	32.2	160	300	517	abcd
1.11	2	409	32.2	160	301	518	abcd
5.13	1	413	32.2	160	305	522	abcd
1.11	1	416	32.2	160	308	525	abcd
9.16	5	418	32.2	160	310	527	abcd
9.46	2	423	45.5	160	269	576	abcd
10.11	4	424	32.2	160	316	533	abcd
4.2	3	428	32.2	160	319	536	abcd
9.23	2	431	32.2	160	323	540	abcd
9.11	2	432	32.2	160	323	540	abcd
2.1	5	432	32.2	160	324	541	abcd
10.11	2	435	32.2	160	327	544	abcd
7.1	2	437	32.2	160	328	545	abcd
9.23	4	438	32.2	160	330	547	abcd
2.1	3	440	32.2	160	332	549	abcd
9.46	5	441	32.2	160	333	550	abcd
2.1	2	442	32.2	160	333	551	abcd
10.11	1	445	32.2	160	336	553	abcd
9.16	1	448	32.2	160	339	556	abcd
5.13	2	450	32.2	160	341	558	abcd
T	2	455	32.2	160	346	564	abcd
4.2	5	457	32.2	160	348	565	abcd
T	5	459	32.2	160	350	567	abcd
7.1	3	464	32.2	160	356	573	abcd
5.13	5	472	32.2	160	363	581	abcd
10.11	5	480	32.2	160	371	588	bcd
1.11	5	481	32.2	160	372	589	bcd
9.11	5	496	32.2	160	387	605	cd
7.1	5	496	32.2	160	388	605	cd
9.23	5	537	32.2	160	429	646	d

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 21

ANÁLISIS DE VARIANZA DE MOE EN FEXIÓN ESTÁTICA

a) Normalidad

```
Shapiro-Wilk normality test
data: ri
W = 0.97829, p-value = 0.002123
```

b) Prueba No Paramétrica: Kruskal Wallis

Código

```
Kruskal-Wallis rank sum test

data: MOE by code
Kruskal-Wallis chi-squared = 19.27, df = 10, p-value = 0.053696
```

Parcela

```
Kruskal-Wallis rank sum test

data: MOE by plot
Kruskal-Wallis chi-squared = 19.912, df = 4, p-value = 0.0005198

  Group Letter MonoLetter
1     1     a             a
2     2    ab             ab
3     3     a             a
4     4     a             a
5     5     b             b
```

ANEXO 22

ANÁLISIS DE VARIANZA DE ELP EN COMPRESIÓN PARALELA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.98575, p-value = 0.053093

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.7686097, Df = 1, p = 0.38065

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: ELP

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	13820.4	1382.04	7.7687	4.58E-10	***
plot	4	3608.2	902.05	5.0706	0.0007175	***
code:plot	40	28088.1	702.2	3.9472	3.64E-10	***
Residuals	158	28108	177.9			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
T	1	94	6.67	158	71.5	116	a
9.46	2	94.5	9.43	158	62.6	126	abc
T	4	94.6	6.67	158	72.1	117	a
9.11	4	98.4	6.67	158	75.9	121	ab
4.2	3	105.2	7.7	158	79.2	131	abcde
T	2	106	6.67	158	83.4	128	abcd
T	5	108.6	6.67	158	86.1	131	abcde
9.16	2	108.6	6.67	158	86.1	131	abcde
1.11	4	109.6	7.7	158	83.6	136	abcde
5.13	1	110.3	6.67	158	87.8	133	abcde
9.11	2	113.2	6.67	158	90.7	136	abcde
5.13	4	113.2	6.67	158	90.7	136	abcde
9.11	3	113.3	6.67	158	90.8	136	abcde
9.11	1	113.6	6.67	158	91.1	136	abcde
9.16	5	115.5	6.67	158	93	138	abcde
10.11	2	117.5	6.67	158	95	140	abcde
9.46	5	118.2	6.67	158	95.7	141	abcde
10.11	4	118.2	6.67	158	95.7	141	abcde
4.2	1	120.2	6.67	158	97.7	143	abcde

7.1	2	120.5	6.67	158	98	143	abcde
9.23	3	121.5	6.67	158	99	144	abcde
2.1	5	121.7	6.67	158	99.2	144	abcde
4.2	2	121.8	7.7	158	95.8	148	abcde
4.2	4	122.6	6.67	158	100.1	145	abcde
7.1	1	124.1	6.67	158	101.6	147	abcde
9.16	4	125.2	6.67	158	102.7	148	abcde
9.46	4	125.2	6.67	158	102.7	148	abcde
9.46	3	125.3	6.67	158	102.8	148	abcde
1.11	1	126.4	6.67	158	103.9	149	abcde
9.46	1	127.1	6.67	158	104.6	150	abcde
9.23	2	128.7	6.67	158	106.2	151	abcde
9.23	1	128.9	6.67	158	106.4	151	abcdef
2.1	1	129.6	7.7	158	103.6	156	abcdef
9.23	5	130.2	6.67	158	107.7	153	abcdef
2.1	4	131.2	6.67	158	108.7	154	abcdef
5.13	5	132.1	6.67	158	109.6	155	abcdef
4.2	5	132.3	6.67	158	109.8	155	abcdef
9.16	3	132.5	6.67	158	110	155	abcdef
2.1	3	133.5	6.67	158	111	156	bcdef
10.11	3	134.5	6.67	158	112	157	bcdef
7.1	4	136.1	6.67	158	113.6	159	bcdef
2.1	2	137.5	6.67	158	115	160	cdef
T	3	138.1	6.67	158	115.5	161	cdef
1.11	5	138.4	6.67	158	115.9	161	cdef
9.16	1	138.5	6.67	158	116	161	cdef
5.13	2	139.8	6.67	158	117.2	162	cdef
7.1	3	140.6	6.67	158	118	163	cdef
9.23	4	140.8	6.67	158	118.3	163	cdef
7.1	5	141.8	7.7	158	115.9	168	cdef
10.11	5	142.1	6.67	158	119.5	165	cdef
1.11	3	143.2	6.67	158	120.7	166	def
9.11	5	144.7	6.67	158	122.1	167	def
5.13	3	145.5	6.67	158	123	168	ef
1.11	2	146.6	6.67	158	124.1	169	ef
10.11	1	167.6	6.67	158	145.1	190	f

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 23

ANÁLISIS DE VARIANZA DE RM EN COMPRESIÓN PARALELA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.98916, p-value = 0.1083

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.02469433, Df = 1, p = 0.87513

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: RM

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	35948	3594.8	10.5007	1.66E-13	***
plot	4	2291	572.8	1.6733	0.1588	
code:plot	40	46833	1170.8	3.42	2.18E-08	***
Residuals	158	54090	342.3			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
T	4	136	9.25	158	104.3	167	a
9.46	2	136	13.08	158	92.4	181	abc
9.11	4	141	9.25	158	110.1	173	ab
T	1	149	9.25	158	118.1	181	abcd
9.11	3	151	9.25	158	119.6	182	abcd
T	5	153	9.25	158	121.9	184	abcde
9.16	2	157	9.25	158	125.8	188	abcde
T	2	160	9.25	158	128.8	191	abcdef
4.2	2	160	10.68	158	124	196	abcdef
1.11	4	164	10.68	158	127.5	200	abcdef
4.2	3	165	10.68	158	129.4	202	abcdefgh
9.46	5	166	9.25	158	134.9	197	abcdef
9.46	3	166	9.25	158	135.3	198	abcdef
9.46	1	167	9.25	158	136.2	199	abcdef
5.13	1	168	9.25	158	136.5	199	abcdef
7.1	2	169	9.25	158	137.8	200	abcdefg
9.23	3	172	9.25	158	140.9	203	abcdefgh
9.11	1	173	9.25	158	142	204	abcdefgh
7.1	1	174	9.25	158	142.4	205	abcdefgh
9.16	5	174	9.25	158	143.2	206	abcdefgh

9.46	4	175	9.25	158	143.4	206	abcdefgh
9.23	1	175	9.25	158	143.7	206	abcdefgh
4.2	1	176	9.25	158	145.1	208	abcdefgh
10.11	3	177	9.25	158	145.9	208	abcdefgh
T	3	177	9.25	158	146.2	209	abcdefgh
9.23	5	178	9.25	158	146.3	209	abcdefgh
2.1	5	178	9.25	158	146.6	209	abcdefgh
4.2	4	178	9.25	158	146.7	209	abcdefgh
9.16	4	179	9.25	158	147.5	210	abcdefgh
10.11	4	179	9.25	158	148.1	210	abcdefgh
5.13	4	185	9.25	158	153.3	216	abcdefgh
4.2	5	185	9.25	158	154.2	217	abcdefgh
5.13	5	188	9.25	158	156.5	219	abcdefgh
10.11	2	188	9.25	158	156.5	219	abcdefgh
2.1	4	188	9.25	158	157.1	220	abcdefgh
9.23	2	189	9.25	158	157.5	220	abcdefgh
9.11	2	189	9.25	158	157.5	220	abcdefgh
9.16	3	192	9.25	158	160.7	223	bcdefgh
1.11	5	192	9.25	158	160.9	223	bcdefgh
2.1	2	192	9.25	158	161	223	bcdefgh
9.16	1	193	9.25	158	161.5	224	bcdefgh
7.1	4	196	9.25	158	164.9	227	cdefgh
2.1	1	197	10.68	158	160.8	233	bcdefgh
2.1	3	198	9.25	158	166.4	229	cdefgh
1.11	3	200	9.25	158	168.3	231	cdefgh
9.23	4	200	9.25	158	168.7	231	cdefgh
7.1	5	202	10.68	158	165.7	238	cdefgh
10.11	5	203	9.25	158	171.8	234	defgh
9.11	5	205	9.25	158	173.9	236	efgh
1.11	1	207	9.25	158	175.7	238	efgh
5.13	3	213	9.25	158	181.6	244	fgh
7.1	3	213	9.25	158	181.7	244	fgh
1.11	2	214	9.25	158	182.7	245	fgh
10.11	1	222	9.25	158	190.8	253	gh
5.13	2	224	9.25	158	192.3	255	h

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05

ANEXO 24

ANÁLISIS DE VARIANZA DE MOE EN COMPRESIÓN PARALELA

a) Normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ri
W = 0.99665, p-value = 0.93

b) Homogeneidad de variancias

Non-constant Variance Score Test

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.0006477861, Df = 1, p = 0.97969

c) Prueba Paramétrica: ANOVA

Analysis of Variance Table

Response: MOE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
code	10	3634.6	363.46	4.2314	3.21E-05	***
plot	4	723.5	180.87	2.1057	0.08259	.
code:plot	40	12090.3	302.26	3.5189	1.01E-08	***
Residuals	158	13571.5	85.9			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d) Prueba de comparación de medias: TUKEY

<i>code</i>	<i>plot</i>	<i>emmean</i>	<i>SE</i>	<i>df</i>	<i>lower.CL</i>	<i>upper.CL</i>	<i>group</i>
9.46	2	44.2	6.55	158	22.1	66.3	a
4.2	3	49.7	5.35	158	31.7	67.8	ab
9.11	4	52.3	4.63	158	36.7	68	abc
9.16	2	53	4.63	158	37.3	68.6	abcd
7.1	2	55.4	4.63	158	39.7	71	abcd
1.11	4	55.4	5.35	158	37.3	73.4	abcde
T	1	58.7	4.63	158	43.1	74.3	abcde
T	5	59.9	4.63	158	44.2	75.5	abcde
T	3	60.1	4.63	158	44.5	75.8	abcde
4.2	1	60.7	4.63	158	45.1	76.3	abcde
2.1	5	60.9	4.63	158	45.3	76.6	abcde
9.11	3	61.4	4.63	158	45.8	77.1	abcde
T	2	61.9	4.63	158	46.2	77.5	abcde
9.46	3	62.3	4.63	158	46.6	77.9	abcdef
1.11	5	62.3	4.63	158	46.7	78	abcdef
5.13	1	62.6	4.63	158	47	78.3	abcdef
T	4	63.5	4.63	158	47.9	79.1	abcdef

10.11	5	63.9	4.63	158	48.3	79.6	abcdef
9.16	5	64	4.63	158	48.4	79.6	abcdef
5.13	5	65	4.63	158	49.3	80.6	abcdef
1.11	3	65.1	4.63	158	49.5	80.8	abcdef
4.2	2	65.7	5.35	158	47.6	83.7	abcdef
5.13	4	66.5	4.63	158	50.8	82.1	abcdef
4.2	5	66.5	4.63	158	50.9	82.1	abcdef
2.1	2	66.5	4.63	158	50.9	82.2	abcdef
9.23	1	67.1	4.63	158	51.4	82.7	abcdef
9.11	2	67.8	4.63	158	52.2	83.4	abcdef
9.46	5	68.6	4.63	158	53	84.3	abcdef
9.16	1	69.2	4.63	158	53.6	84.8	abcdef
7.1	5	69.6	5.35	158	51.5	87.6	abcdef
7.1	1	70.2	4.63	158	54.6	85.9	abcdef
9.46	1	71.4	4.63	158	55.7	87	abcdef
2.1	3	71.4	4.63	158	55.8	87.1	abcdef
10.11	2	71.7	4.63	158	56	87.3	abcdef
1.11	2	71.7	4.63	158	56.1	87.3	abcdef
9.11	1	72.2	4.63	158	56.6	87.9	abcdef
2.1	4	73.1	4.63	158	57.5	88.7	abcdef
9.46	4	73.5	4.63	158	57.9	89.2	abcdef
9.23	3	73.7	4.63	158	58.1	89.3	abcdef
7.1	3	74.3	4.63	158	58.7	90	abcdef
1.11	1	74.5	4.63	158	58.9	90.2	abcdef
9.23	4	75.8	4.63	158	60.1	91.4	abcdef
4.2	4	76.5	4.63	158	60.9	92.2	abcdef
7.1	4	76.8	4.63	158	61.1	92.4	abcdef
5.13	2	76.9	4.63	158	61.2	92.5	abcdef
9.23	2	77.5	4.63	158	61.9	93.1	bcdef
5.13	3	77.6	4.63	158	62	93.2	bcdef
9.16	4	78.2	4.63	158	62.6	93.9	bcdef
10.11	1	79.3	4.63	158	63.6	94.9	cdef
10.11	4	79.8	4.63	158	64.2	95.4	def
9.23	5	79.8	4.63	158	64.2	95.4	def
2.1	1	80.3	5.35	158	62.2	98.4	bcdef
10.11	3	83.4	4.63	158	67.8	99.1	ef
9.11	5	83.8	4.63	158	68.1	99.4	ef
9.16	3	89.3	4.63	158	73.6	104.9	f

Confidence level used: 0.95

Conf-level adjustment: sidak method for 55 estimates

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 55 estimates

significance level used: alpha = 0.05