UNIVERSIDAD NACIONAL
INTERCULTURAL DE LA AMAZONÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE

INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA

Relación de las propiedades físicas y genéticas de la madera de *Guazuma crinita* (bolaina blanca) del rodal semillero del INIA-Pucallpa, proveniente de dos unidades fisiográficas

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROFORESTAL ACUÍCOLA

BACH. JOEL ESTEBAN ODICIO GUEVARA

YARINACOCHA – PERÚ

2017

A mis amados padres Lilia y Manuel

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

Al Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), por donar los árboles de *Guazuma crinita* usados en el presente estudio.

A la University of Life Sciences Prague de la Republica Checa, por permitir el estudio genético de la especie *G. crinita.*

A la Universidad Nacional de Ucayali, por facilitar el uso de materiales y ambientes durante la ejecución experimental inicial del presente estudio.

Al Ing. MSc. Robert Gilbert Pecho de la Cruz y al Ing. MSc. David Gerardo Lluncor Mendoza, por asesorar con paciencia, dedicación y profesionalismo el desarrollo del presente estudio.

A mi jurado de tesis Ing. Luisa Riveros Torres, Ing. MSc. Andres Castillo Quiliano e Ing. MSc Ena Vilma Velazco Castro, por sus acertadas correcciones en la redacción de esta tesis.

A la Ing. Phd Laura Tuisima Coral, por compartir información y conocimientos fundamentales para la ejecución del presente.

Al Ing. Pedro Reyes Inca, por compartir su experiencia e información sobre el rodal semillero del cual se basó el presente estudio.

Y en general a todas las demás personas que de una u otra manera hicieron posible la realización del presente estudio.

INDICE

Pág.

I. INTRODUCCIÓN 11

II. REVISIÓN LITERARIA 13

2.1 Antecedentes del problema 13

2.1.1 Antecedentes del rodal semillero: INIA-PUCALLPA 13

2.1.2 Antecedentes de la especie 15

2.1.3 Estudio genético de *Guazuma crinita* 17

2.2 Bases teóricas 19

2.2.1 Propiedades físicas de la madera 19

2.2.2. Características generales de *G. crinita* 22

2.2.3 Algunos aspectos genéticos referidos al estudio 25

2.3 Definición de Términos Básicos 27

2.4 Variables 28

2.4.1 Variable independiente (cualitativas) 27

2.4.2 Variable dependiente (cuantitativas) 28

III. METODOLOGÌA 29

3.1. Tipo y nivel de investigación 29

3.2 Método de la investigación 29

3.2.1. Lugar de ejecución del experimento 29

3.2.2. Obtención del material biológico 29

3.3. Procedimiento 30

3.3.1. Obtención de las probetas 30

3.3.2. Determinación de las propiedades físicas de las probetas 32

3.3.3. Relación de las propiedades físicas con la variabilidad genética 34

3.3.4. Diseño de la Investigación 35

3.3.5. Tratamiento estadístico 38

3.4. Poblacion y muestra 38

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 39

4.1. Propiedades físicas de *G. crinita* de seis procedencias del rodal semillero INIA-Pucallpa. 39

4.1.1. Contenido de humedad (CH) 39

4.1.2. Contraccion tangencial/radial (T/R) 39

4.1.3. Peso específico (Pe) 40

4.1.4. Densidad básica (Db).....41

4.1.5. Variación del volumen y de las densidades 41

4.1.6. Correlaciones entre las propiedades físicas.....42

4.2. Relación entre las propiedades físicas y los parámetros de diversidad genética de *G. crinita* determinados por Tuisima *et al*. 2016 45

4.2.1. Relación de las propiedades físicas con el índice de diversidad de genes de Nei (*He*)..... …….45

4.2.2. Relación de las propiedades físicas con las distancias geográficas 46

V. CONCLUSIONES 51

VI. RECOMENDACIONES.....52

VII. BIBLIOGRAFIA.....53

VIII. ANEXOS 57

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Ubicación y características de las procedencias de *Guazuma crinita* recolectadas en la cuenca del río Aguaytía 14

Cuadro 2. Clasificación de las maderas según sus propiedades físicas, sin considerar el contenido de humedad 22

Cuadro 3. Matriz que describe las “clases de aptitud” para el establecimiento de Bolaina blanca 25

Cuadro 4. Caracterisiticas edafoclimáticas de las unidades fisiográficas de la cuenca de los ríos Aguaytía y Pachitea 30

Cuadro 5. Promedio y coeficiente de variabilidad para peso específico, contenido de humedad, relación T/R y densidad básica de *Guazuma crinita* por unidad fisiografica y niveles de fuste. 40

Cuadro 6. Contracción de la madera de *Guazuma crinita* por unidad fisiografica y niveles de fuste 41

Cuadro 7. Correlación de Pearson entre las propiedades físicas de *Guazuma crinita* 42

Cuadro 8. Correlación de Pearson de la contracción volumétrica, contenido de humedad y peso específico con la densidad básica de la madera de *Guazuma crinita* por unidad fisiográfica y niveles de fuste. 44

Cuadro 9. Correlación de Pearson entre el coeficiente de variabilidad de las propiedades físicas de *Guazuma crinita* y el índice de diversidad genética por unidad fisiografica 46

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación de las procedencias de los árboles madre y de las plantaciones de *Guazuma crinita* en la cuenca del Aguaytía 14

Figura 2. Dendrograma de 44 individuos de *Guazuma crinita* perteneciente a un jardin clonal, según analisis UPGMA de polimorfismo ISSR 18

Figura 3. Principales carácterísiticas morfológicas de *Guazuma crinita* 24

Figura 4. Rodaja mostrando la médula y la cruz 31

Figura 5. Cortes transversales a la cruz para obtener las probetas 31

Figura 6. Marcas en la probeta para ser medidas 33

Figura 7. Variación del volumen (A) y de la densidad (B) de la madera de *Guazuma crinita* por unidad fisiográfica durante las evaluaciones 43

Figura 8. Correlación de Pearson entre la densidad basica de *Guazuma crinita* con la longitud geográfica por procedencia según unidad fisiográfica 48

Figura 9. Correlación de Pearson entre el contenido de humedad de *Guazuma crinita* con la longitud geográfica por procedencia según unidad fisiográfica 50

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Altura total de los fustes de *Guazuma crinita* por procedencia y unidad fisiográfica del rodal semillero INIA-Pucallpa 57

Anexo 3. Fluctuaciones de la densidad de la madera de *Guazuma. crinita* durante las evaluaciones 57

Anexo 3. Fluctuaciones del volumen de la madera de *Guazuma crinita* durante las evaluaciones 57

Anexo 4. Estadísticos descriptivos para peso específico, contenido de humedad, relación T/R y densidad básica de *Guazuma crinita* por unidad fisiográfica 58

Anexo 5. Ubicación de las unidades fisiográficas en las cuencas 59

Anexo 6. Croquis de ubicación del rodal semillero de *Guazuma crinita* en el INIA-Pucallpa 59

Anexo 7. Rodal semillero de *Guazuma crinita* del INIA-Pucallpa 60

Anexo 8. Rodajas recién cortadas del fuste, pintadas,codificadas y amarradas 60

Anexo 9. Rodajas por nivel de fuste listas para ser cortadas y obtener las probetas 60

Anexo 10. Protección con bolsas plásticas para evitar la perdida de humedad 60

Anexo 11. Probetas entrecruzadas, secándose en condicion ambiente 61

Anexo 12. Medición de una probeta 61

Anexo 13. Pesado de una probeta 61

Anexo 14. Secado de las probetas en horno a 103° C 61

RESUMEN

Guazuma crinita (bolaina blanca), es uno de los árboles maderables más importantes en la Amazonía Peruana, debido a su rápido crecimiento y al uso extenso de su madera. En la Región Ucayali, se encuentra distribuida principalmente en la cuenca del rio Aguaytia, bajo diversas condiciones edafoclimaticas que pudieran estar modificando sus propiedades físicas o simplemente estas propiedades están influenciadas por un patrón genético independientemente del lugar donde crecen. El objetivo del estudio fue correlacionar las propiedades físicas y genéticas de la madera de *G. crinita* del rodal semillero INIA-Pucallpa proveniente de dos unidades fisiográficas: un Bosque de colinas bajas entre los 230 y 290 msnm y un Bosque de terrazas aluviales entre los 150 a 185 msnm. Las propiedades físicas como la densidad básica (Db), peso específico (Pe), contenido de humedad (CH) y la relación de la contracción tangencial/radial (T/R) fueron relacionadas con las propiedades genéticas a nivel molecular que fueron determinadas por Tuisima *et al*. (2016) para la misma especie. Los promedios de Db y Pe fueron 0.423 g/cm^3 y 0.442 respectivamente, los valores mínimos y máximos para CH fueron 57.68 y 94.65 % respectivamente, mientras que la T/R decrece de la base del árbol hacia la copa de 1.83 a 1.31. Solo existe una relación clara de las propiedades físicas y genéticas de la madera de *G. crinita*, cuando la Db y el CH son correlacionados con la longitud geográfica, a pesar que los árboles estuvieron plantados en un mismo lugar bajo las mismas condiciones edafoclimáticas, la Db y el CH siguieron el patrón genético heredado de sus antepasados.

Palabras claves: *Guazuma crinita*, propiedades físicas, influencia genética.

ABSTRACT

Guazuma crinita (white bolaina), is one of the most important timber trees in the Peruvian Amazon, due to its rapid growth and the extensive use of its wood. In the Ucayali Region, it is distributed mainly in the Aguaytia river basin, under diverse edaphoclimatic conditions that could be modifying its physical properties or simply these properties are influenced by a genetic pattern no matter where they grow. The objective of the study was to correlate the physical and genetic properties of *G. crinita* wood from the INIA-Pucallpa seed stand from two physiographic units: a forest of low hills between 230 and 290 msnm and a forest of alluvial terraces between 150 to 185 msnm. Physical properties such as basic density (Db), specific gravity (Pe), moisture content (CH) and tangential/radial contraction ratio (T/R) were related to molecular genetic properties determined by Tuisima *et al*. (2016) for the same species. The Db and Pe averages were 0.423 g/cm3 and 0.442 respectively, the minimum and maximum values for CH were 57.68 and 94.65% respectively, while the T/R decreased from the base of the tree to the top from 1.83 to 1.31. There is only a clear relation of the physical and genetic properties of *G. crinita* wood when Db and CH are correlated with the geographic length, although the trees were planted in one place under the same edaphoclimatic conditions, Db and CH followed the genetic pattern inherited from their ancestors.

Key words: Guazuma crinita, physical properties, genetic influence.

I. INTRODUCCION

Hasta ahora, la Amazonía Peruana no posee semillas de alta calidad de *Guazuma crinita*, cuyas características genéticas sean deseables y estables para ser usadas en plantaciones élite (Weber *et al*. 1999). A pesar de que una de las características genéticas de mayor importancia en las maderas es la expresión de sus propiedades físicas (Panshin y De Seew, 1980), existen pocos estudios que han determinado estas propiedades en *G. crinita*, y no han relacionado estas propiedades con su variabilidad genética molecular (Tuisima *et al.* 2016).

Por otro lado, falta concluir el trabajo de selección de los mejores árboles de *G. crinita,* provenientes de la cuenca del río Aguaytía y del río Pachitea, iniciado por el ICRAF en el año 1998, cuya progenie fue instalada en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en el 2006. El criterio dispuesto por el International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), para la selección de los mejores árboles de *G. crinita* sólo estaba basado en características fenotípicas; limitando así otros criterios como la selección por variabilidad genética y por la expresión de sus propiedades físicas de la madera, estos criterios fueron planteados como objetivos posteriormente, pero hasta la fecha no se han realizado (Reyes, 2015). En consecuencia, se desconoce si estas características fenotípicas tienen alguna relación con las propiedades genéticas; dicha relación se pretende conocer con los resultados de variabilidad genética de la especie en mención obtenidos por Tuisima *et al*. (2016), pues aún estos resultados no han sido relacionados con las propiedades físicas de esta especie. Ante esta problemática, se plantea la siguiente interrogante: **¿Cuál es la relación de las propiedades físicas y genéticas de la madera de *Guazuma crinita* (bolaina blanca) del rodal semillero del INIA-Pucallpa, proveniente de dos unidades fisiográficas ?.**

Por consiguiente el **objetivo general** es correlacionar las propiedades físicas y genéticas de la madera de *Guazuma crinita* (bolaina blanca) del rodal semillero del INIA-Pucallpa, proveniente de dos unidades fisiográficas ; y los **objetivos específicos** son: 1) Determinar el contenido de humedad, la relación de contracción tangencial/radial (T/R), contracción volumétrica, peso específico y la densidad básica de las probetas de *G crinita* de dos unidades fisiográficas en tres niveles de fuste, del rodal semillero del INIA-Pucallpa y 2) Relacionar los resultados de estas propiedades físicas con: (i) el índice de diversidad de genes de Nei y (ii) con las distancias geográficas, los parámetros de diversidad genética fueron determinados por Tuisima *et al*. (2016).

G. crinita, es una de las especies más potenciales para plantaciones agroforestales y la producción de madera, proporciona productos a una edad muy temprana que contribuye de manera significativa a la subsistencia de los pequeños agricultores en la Amazonía Peruana (Rochon *et al*. 2007; Putzel *et al*. 2013). Es una especie versátil, con excelente capacidad de adaptación a una gran variedad de sitios (Maruyama *et al*. 1989; Maruyama *et al*. 1997; Flores 2000; Soudre 2012). Gracias a la alta trabajabilidad de la madera, es muy usada en carpintería general, así como en la fabricación de palos de escoba, palos de diente, paletas médicas, palos de chupete, y juguetería, pero sobre todo para la fabricación de tablillas las cuales son las preferidas por las personas de menos recursos económicos por su bajo precio, acaparando gran parte del mercado regional y nacional (Aróstegui 1974, Encarnación 1983).

La investigación será útil para conocer la relación entre las propiedades físicas y genéticas de la madera de *G. crinita*, y fundamental para iniciar programas de conservación genética con esta especie; también es transcendental para la ciencia pues es el primer trabajo preliminar en la Amazonía Peruana, en relacionar las características genéticas de una especie forestal con sus propiedades físicas.

Los primeros beneficiarios de este estudio serán los fitomejoradores pues dispondrán de conocimiento para decidir que semillas conservar y con qué propósito, como por ejemplo: para obtener madera más densa o menos densa, así también para identificar que árbol/es se adapta mejor a una determinada condición edafoclimática, para así maximizar la cantidad y calidad de la madera.

II. REVISION LITERARIA

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes del rodal semillero: INIA-PUCALLPA

Debido a la necesidad de determinar las mejores procedencias, recoger la mayor variabilidad intraespecífica y comprobar los niveles de adaptación de *G. crinita*, semillas de polinización abierta de 200 árboles madre que crecen en siete rodales naturales situados en la parte alta, medio y bajo de la cuenca del río Aguaytía y parte de la cuenca media y baja del río Pachitea (Cuadro 1), fueron recolectadas entre julio y octubre de 1998 por el ICRAF en colaboración con el INIA (Dawson *et al*. 2012). Según Weber *et al*. (2011), los árboles *G. crinita* crecen en toda la cuenca del Aguaytía, por lo que se supone que los rodales muestreados son sub-poblaciones de la misma población genética y no están aislados genéticamente (afirmación que se pretende corroborar con el presente estudio). Esto está sustentado en la manera de dispersión de semilla de esta especie, gracias a sus frutos cápsula con plumas ligeras, que son dispersados sobre distancias muy largas por el viento y el agua. Además, se asume que algo de endogamia ha ocurrido y continúa ocurriendo en estas sub-poblaciones (Weber y Sotelo 2008).

Para reducir la probabilidad de muestrear hermanos, por lo menos se mantuvo una distancia de 100 m entre dos árboles seleccionados. La intensidad de muestreo fue de 20% (es decir, se seleccionó aproximadamente uno de cada cinco árboles de cada rodal), por lo que es poco probable que exista diferencia o similitud entre los árboles seleccionados y de toda la población de cada procedencia. El número de árboles seleccionados (mínimo = 17 y máximo = 63, ver Cuadro 1) fueron aproximadamente proporcional al número total de árboles en cada procedencia (Rochon *et al*. 2007).

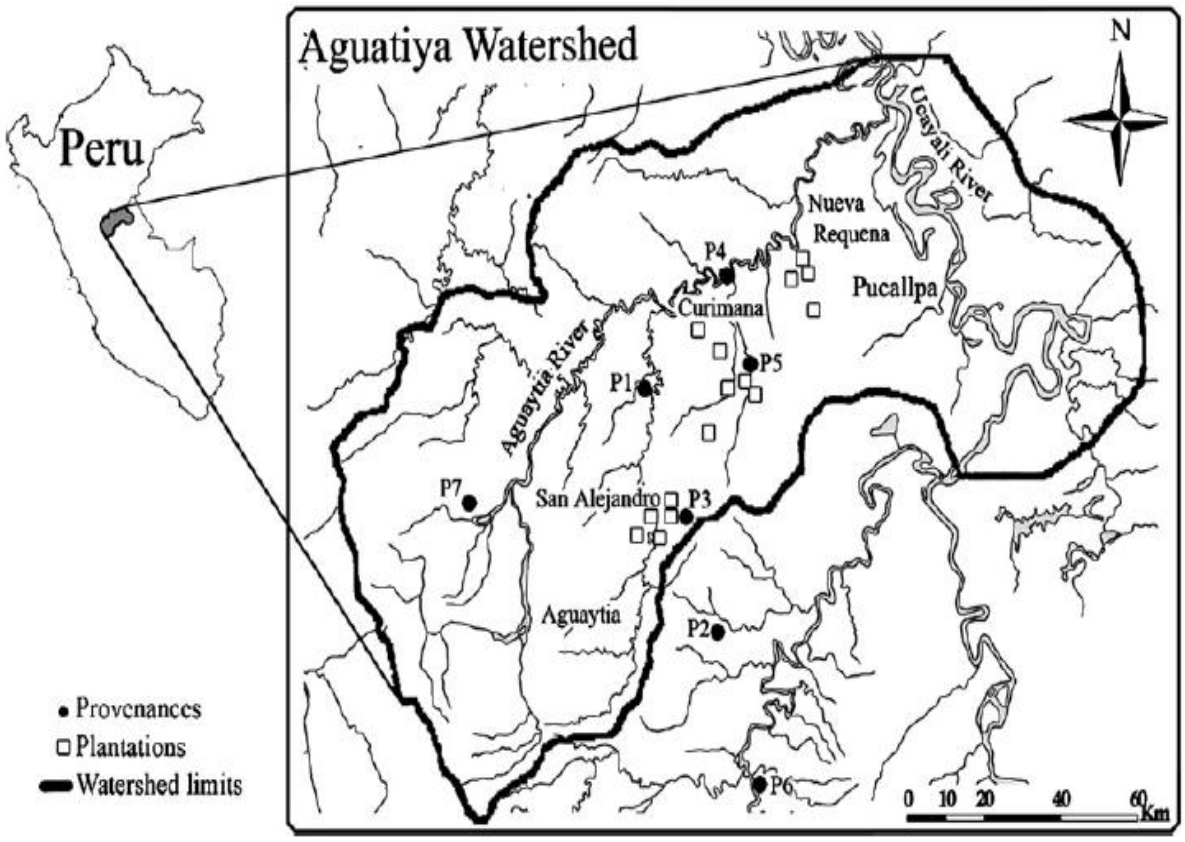
Las semillas recolectadas fueron trasladadas al vivero del ICRAF en Pucallpa, y se almacenó en envases de plástico sellados con insecticidas y fungicidas hasta el inicio de su etapa de producción en vivero. Cada uno de los 200 árboles madre constituyó un lote separado, no se hizo una mezcla de progenies. En el mes de Julio del año 1999 se inició la primera producción de plántulas, las cuales fueron plantadas entre febrero y abril del 2001 dentro de la zona alta, media y baja de la cuenca del río Aguaytía con cuatro, seis y cinco repeticiones respectivamente (Figura 1). La segunda producción de plántulas se realizó en el año 2005 usando las mismas semillas antes recolectadas (de los 200 árboles) las cuales estuvieron almacenadas en buenas condiciones por el ICRAF, las nuevas plántulas fueron plantados al

azar dentro de las instalaciones del INIA en el año 2006, constituyendo así el rodal semillero del cual se obtuvo la muestra para el presente estudio.

Cuadro 1. Ubicación y características de las procedencias de *Guazuma crinita* recolectadas en la cuenca del río Aguaytía.

Ubicación en la cuenca	Código de procedencia	No Árboles madre	Latitud (°S)	Longitud (°E)	Fertilidad del suelo[a]	Precipitación anual[b]
Bajo/medio	4	35	8°23’	75°2’	Fértil aluvial	bajo/moderado
Medio	1	24	8°36’	75°13’	infértil	bajo/moderado
Medio	5	23	8°33’	74°59’	Fértil aluvial	moderado
Alto	2	63	9°4’	75°3’	Fértil no aluvial	alto
Alto	3	17	8°51’	75°8’	Fértil no aluvial	alto
Alto	6	17	9°22’	74°57’	Fértil aluvial	alto
Alto	7	21	8°49’	75°37’	Fértil aluvial	alto

Fuente: Rochon *et al*. 2007
[a] adaptado de los datos colectados por el ICRAF
[b] adaptado de los datos colectados por el INIA (bajo≈ 1 400 mm, moderado≈ 1 700 mm, alto> 2 500 mm lluvia/año)



Fuente: Rochon *et al*. 2007

Figura 1. Ubicación de las procedencias de los árboles madre (puntos negros) y de las plantaciones (cuadrados) de *Guazuma crinita* en la cuenca del Aguaytía.

2.1.2 Antecedentes de la especie

Weber y Sotelo (2008), determinaron las diferencias genéticas en el rendimiento de biomasa de *G. crinita* entre procedencias y así sugerir a la mejor procedencia para ser usada en futuras plantaciones. El análisis de varianza hallado por estos autores, mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en el crecimiento y densidad de la madera debido a la procedencia, indicando las diferencias genéticas entre procedencias. El nivel de la diferencia fue mayor en la zona baja para el diámetro del tallo, pero mayor en la zona alta para la densidad de la madera. En el análisis de procedencia, se observó que la procedencia de "Von Humboldt" en general se desarrolló mejor que las demás tanto en crecimiento (8% más) y densidad (2% más).

Los investigadores también analizaron las correlaciones fenotípicas entre crecimiento de los árboles y la densidad de la madera. Las comparaciones se hicieron para la parte inferior y superior del fuste de los árboles. El análisis mostró que el nivel de correlación depende de la posición del fuste, la zona de la prueba y la procedencia. Sin embargo, los datos sugieren una correlación negativa baja ($R^2 = 0.3$) entre el crecimiento de los árboles y la densidad de la madera.

En las plantaciones antes descritas (Figura 1) Weber *et al*. (2011), determinaron si la variación genética en las características de crecimiento (altura del árbol, diámetro de fuste) es relativamente mayor en las plantaciones de rápido crecimiento (B-cb), y si hay diferencias significativas en la mortalidad de los árboles y bifurcaciones entre procedencias en las plantaciones de 24, 36 y 48 meses de edad. La variación debido a procedencias y heredabilidad de las características de crecimiento fueron consistentemente mayores en las plantaciones de rápido crecimiento. A los 48 meses, la heredabilidad de las características de crecimiento fue de aproximadamente el doble en las plantaciones de rápido crecimiento (zona alta) que en las plantaciones de lento crecimiento (zona baja). No hubo interacciones significativas entre zonas y procedencias. La mortalidad de árboles y bifurcaciones en el fuste en plantaciones de rápido crecimiento, no difirieron significativamente entre los individuos, pero fue significativamente diferente entre procedencias ($p \leq 0.05$).

Por otro lado, con respecto a las correlaciones para la sección transversal (médula-corteza) en *G. crinita*; Rochon (2004), evaluó la correlación fenotípica entre el crecimiento del árbol (altura, diámetro) y la densidad de la madera en dos posiciones radiales en el tallo. Las correlaciones fueron altas y negativas ($R^2 = 0.68$), pero más fuertes con la densidad cerca de la corteza que

cerca de la médula (R^2 = 0.76). Sin embargo, no hubo diferencia significativa en la densidad entre las dos posiciones, probablemente debido a la corta edad de los árboles (14 meses).

En estudios similares, Tauchen (2011) estimó la variación morfológica y genética de *C. spruceanum* de ocho procedencias; determinó que el factor ambiente tuvo mayor impacto sobre el fenotipo que las procedencias, pero es preciso indicar que sus muestras provinieron de dos zonas con características ambientales y edáficas diferentes entre sí. El autor determinó mayor variación genética dentro de las procedencias que entre ellas, siendo la procedencia de "San Alejandro" la más diversa. Similar resultado obtuvo Russell *et al.* (1999) para la misma especie, el autor analizó la variación genética dentro y entre nueve poblaciones naturales, los resultados demostraron mayor variabilidad entre individuos (*He* = 0.82) dentro de las poblaciones que entre las poblaciones (*He* = 0.21).

Estudios similares se han desarrollado para otras especies tropicales, como por ejemplo en *Cedrela odorata* (Torre *et al.* 2008), *Camellia sinensis* (Paul *et al*. 1997), *Fagus sylvatica* (Leonardi y Menozzi, 1995), *Bertholletia excelsa* (Kanashiro *et al*. 1997) y en *Grevillea robusta* (Shimizu *et al*. 2002).

Por otro lado, sobre las características físicas de la especie, Taquire (1987), determinó que la variación al nivel radial de la densidad anhidra y de la contracción volumétrica se incrementa desde la médula del árbol hacia la periferia del tronco; el contenido de humedad tiene una variación en descenso hacia la periferia pero en forma desordenada. A nivel longitudinal la densidad anhidra es mayor en la parte basal decreciendo en la parte superior y la parte media. El contenido de humedad en la parte basal (72%) y superior (70%) son homogéneos, siendo el de mayor valor el de la parte basal y localizándose el valor mínimo en la parte media del árbol (63%).

El mismo autor afirma que la densidad anhidra de *G. crinita* también varía incrementándose de la médula hacia la corteza, con los siguientes valores: 0.39 a 0.46 g/cm^3, de similar manera la densidad básica mantiene la misma tendencia pero manifestando valores más bajos.

Los valores de la relación entre contracción tangencial y radial (T/R) a nivel longitudinal van decreciendo de la base del árbol hacia la copa (1.79 a 1.49) (Taquire 1987).

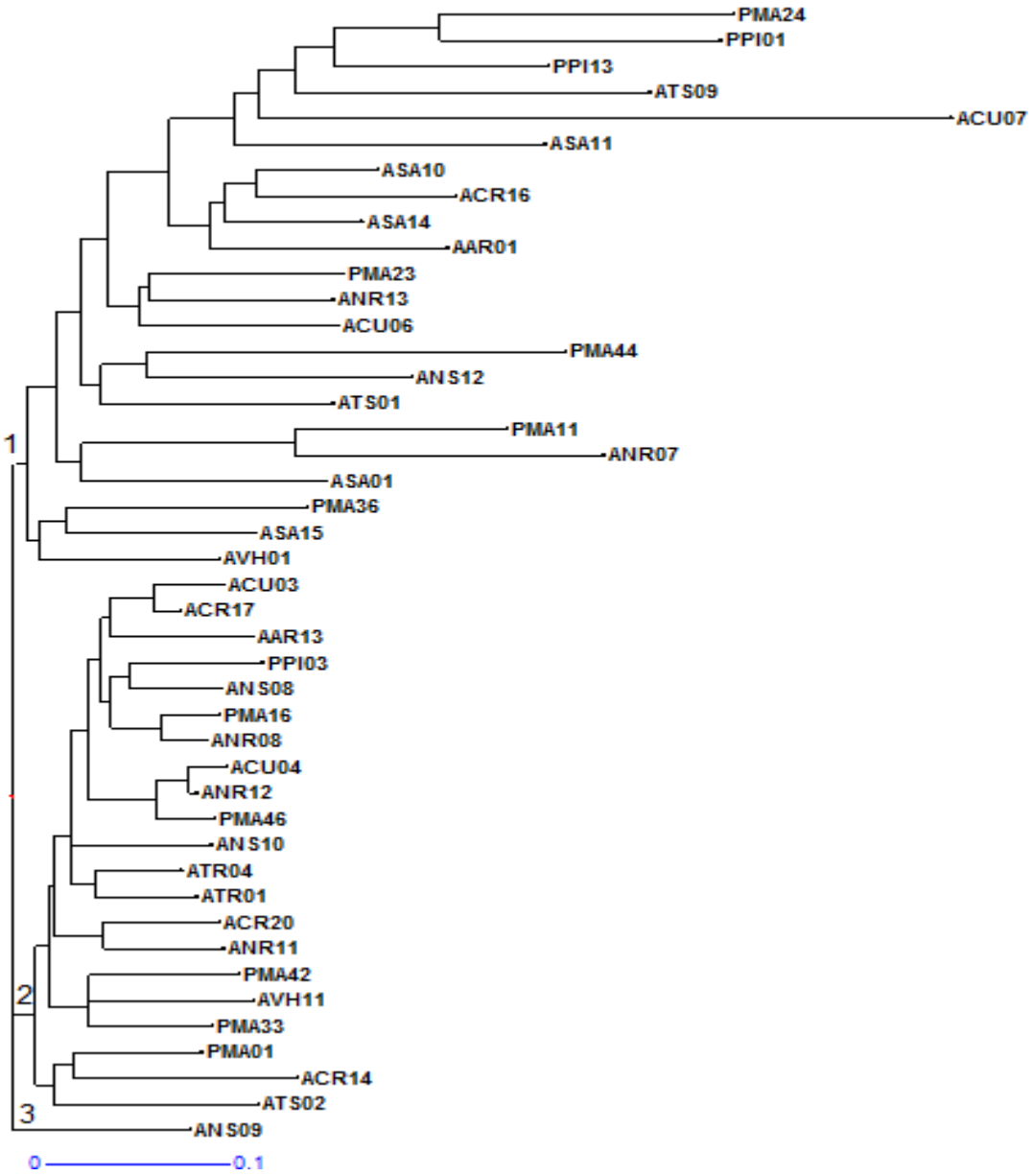
Según Domínguez s.f. la densidad de la bolaina blanca es media de acuerdo a la densidad básica (0.41 g/cm3). Es una madera estable y de buen comportamiento al secado (contracción tangencial de 5.5% y radial de 3.5%); agrega también que su resistencia mecánica es mediana de acuerdo a su densidad. Aróstegui (1974), señala también estas características para la misma especie, añadiendo que la relación de la contracción tangencial y radial es de T/R=1.6.

Taricuarima (2004), determino las propiedades absorbentes y de contracción de *G. crinita* por niveles de fuste. Sus resultados evidencian que la madera no presenta diferencia significativa entre absorción máxima de humedad entre los cinco niveles de fuste, asumiéndose que la absorción máxima de humedad promedio fue de 65 %; además no existió una correlación significativa entre los niveles del fuste y la absorción máxima de humedad de la madera. La madera presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los promedios de las contracciones tangencial, radial y volumétrica por niveles de fuste. La madera presentó relaciones significativas entre los niveles de fuste y la contracción normal y total, dicha relación evidenció que las contracciones van en disminución de la base a la parte superior del árbol. Existió una relación altamente significativa entre el contenido de humedad y la densidad básica de la madera.

2.1.3 Estudio genético de *Guazuma crinita*

En el año 2012, el Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) con el apoyo del ICRAF identificaron 44 individuos superiores de *G. crinita* basados en la altura y diámetro de fuste, provenientes de las plantaciones de San Alejandro y Curimaná (plantadas en el año 2001) de la cuenca del río Aguaytía descritas anteriormente.

Los 44 genotipos superiores fueron establecidos por el IIAP en un jardín clonal, de donde Tuisima *et al*. (2016) obtuvieron el material (hojas) para el estudio genético a nivel molecular de estos individuos. Este estudio se realizó en la *University of Life Science Prague* en Praga, Republica Checa, en la facultad de *Tropical AgriSciences;* donde determinaron la variabilidad genética individual de *G. crinita* de los genotipos antes descritos, usando el marcador molecular ISSR (Inter-Simple Sequence Repeat); es importante indicar que para este estudio no se usaron cebadores específicos para *G. crinita* por no existir hasta esa fecha en el mercado, por lo contrario se usaron cebadores comerciales, este hecho restringe la interpretación final de los resultados de esta tesis.



Fuente: Tuisima *et al*. (2016).

Figura 2. Dendrograma de 44 individuos de *Guazuma crinita* perteneciente a un jardín clonal, según análisis UPGMA de polimorfismo ISSR.

Los resultados de Tuisima *et al.* (2016), están fundados en el índice de diversidad de genes de Nei (*He*) obtenido a través del porcentaje de bandas polimórficas después de realizar la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) y visualizadas en rayos UV después de la corrida electroforética en gel de agarosa (2%), con los cebadores no específicos. Las bandas polimórficas poseen un tamaño particular (peso molecular), se considera un “locus”, que

representa el segmento de ADN entre los microsatélites. Y se ha visto que los ISSRs frecuentemente amplifican de 25 a 50 bandas en una sola reacción. Este patrón característico de productos de PCR se considera la “huella digital genética” de cada uno de los individuos analizados. El polimorfismo entre individuos de la misma población puede detectarse, ya que el análisis es sensible a la presencia/ausencia del elemento genómico reconocido por el cebador y a la longitud de la secuencia intermedia amplificada.

Los resultados revelaron la formación de tres grupos pobremente diferentes entre sí (Figura 2). El primer grupo conformado mayormente por individuos provenientes de Macuya (M), San Alejandro (SA), Puerto Inca (PI) y Tahuayo (TS); el segundo grupo está conformado mayormente por Macuya, Nueva Requena (NR), Curimaná (CR) y Neshuya (NS), y el último grupo está conformado por individuos de Tournavista (T) y Neshuya; los autores concluyen que no hubo un claro patrón de agrupamiento entre las procedencias, por lo tanto tampoco hubo un claro patrón de agrupamiento entre unidades fisiográficas .

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Propiedades físicas de la madera

Blume (1980), afirma que la variación de las propiedades físicas es debida a diferencias en la estructura de la madera y a la presencia de constituyentes extraños, como el espesor de las paredes celulares y la longitud de los elementos estructurales. En la madera se dan diferencias muy notables de sus propiedades presentándose muy diversas aún en el mismo árbol; es diversa también según sea el árbol joven o viejo, haya crecido en terreno húmedo o seco, lugares cálidos o fríos, formando grupos o aislados.

Grigoriev (1985), afirma que las propiedades físicas pueden determinarse sin alterar la integridad de la muestra sometida al ensayo y sin cambiar su composición química, es decir que pueden definirse mediante la inspección, la pesada, medición y el secado. Los principales estudios de las propiedades físicas en la madera son:

a. Contenido de humedad

PADT-REFORT/JUNAC (1989), afirma que para la determinación del contenido de humedad se hace considerando solo los valores del agua libre y de saturación o higroscópica, en la práctica, la madera se considera totalmente seca cuando al secarla en estufa a 103 ± 2 °C alcanza peso

constante. El contenido de humedad se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al horno o anhidra.

Tuset (1989), manifiesta que el contenido de humedad de una madera influye mucho en su peso (y por tanto en su comercialización) a la vez afecta otras propiedades físicas como el peso específico y la contracción o hinchamiento de sus dimensiones.

Valenzuela (1983) citado por Mora (1985), sostiene que la madera es un material higroscópico, con propiedad de absorber y ceder agua. El agua en la madera se presenta en tres condiciones o niveles: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución.

Galetti (1987) citado por Tuset (1989), menciona que el contenido de humedad de una madera esta en relación con las condiciones ambientales del lugar y dentro de un mismo lugar. El equilibrio higroscópico de una madera evidencia un estado sensible a los cambios ambientales, ya que el grado de humedad que la caracteriza en un momento dado, puede aumentar o disminuir, de acuerdo con las modificaciones de las condiciones de temperatura y humedad del aire. Como las condiciones ambientales de todos los sitios varían constantemente, ninguna madera se encuentra en equilibrio estable, sino que el contenido de humedad sigue las fluctuaciones que le condiciona el medio ambiente.

b. Densidad

PADT-REFORT/JUNAC (1989), afirma que la densidad de la madera es la masa por unidad de volumen a un determinado contenido de humedad. Un aumento en el contenido de humedad trae como consecuencia un incremento de su masa en una proporción mayor que el incremento de su volumen y por lo tanto la densidad aumentará. Mencionan también que para efectos de comparación de la densidad entre especies, se han normalizado los siguientes valores, densidad anhidra, que es la masa seca al horno entre volumen seco al horno; densidad ambiente, que es masa al 12% de contenido de humedad entre volumen al 12% de contenido de humedad, esta densidad es cambiante en función a las condiciones medioambientales del momento en que se determina dicho valor y la densidad en el punto de saturación de las fibras o densidad verde, que es la masa al 30% de contenido de humedad entre el volumen al 30% de contenido de humedad.

Daniel *et al*. (1982); Zobel y Talbert (1988); Wrigth y Osorio (1992), señalan que existe una considerable variación de la densidad de la madera entre árboles de una misma especie, entre especies y entre diferentes áreas geográficas, que son consecuencia de que dicha característica está influenciada por la condición genética del individuo y el ambiente en el cual crece.

c. Contracción

Aróstegui (1982), afirma que la contracción es una propiedad que posee la madera, de variar en sus dimensiones tanto en el sentido radial, tangencial, longitudinal y en volumen, cuando su estado de humedad varía, como consecuencia del cambio de su contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. La causa de estos cambios dimensionales se debe principalmente a la pérdida o entrada de agua higroscópica entre las estructuras celulósicas de la pared celular.

Don Bosco (1965), sostiene que la contracción es mayor en las fibras jóvenes que en las viejas, y en las maderas blandas que en las duras. La madera se contrae en tres direcciones: en el eje longitudinal de las células la contracción experimenta un 0.3%, en dirección de los radios medulares la contracción experimente un 5% y en dirección de los anillos anuales la contracción puede alcanzar hasta un 10%. Estos cambios son diferentes según las secciones de la madera (Aróstegui, 1982). La contracción tangencial y la contracción radial son las principales responsables del cambio volumétrico de la madera, la relación T/R varía de 1.65 a 2.30 (PADT-REFORT/JUNAC, 1989).

Según Ananías (2006), la madera tiene un comportamiento anisotrópico, los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitud diferente en las direcciones tangencial, radial y longitudinal; la contracción tangencial es de 1.5 a 3 veces mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera. Las diferencias entre contracción tangencial y radial son debidas por una parte al potencial favorecimiento de la contracción en el sentido tangencial que hacen las bandas de madera de verano, particularmente en coníferas, y por otra a la restricción a los cambios dimensionales que ejercen los radios leñosos en la dirección radial de la madera.

d. Peso específico

Ha sido definido como la relación entre la masa seca del cuerpo por el volumen en equilibrio del cuerpo. La variabilidad del peso específico de la madera, dentro de una especie es producto de un sistema complejo de factores interrelacionados, los cuales actúan como modificadores de los procesos fisiológicos que originan la formación de la madera (Panshin y De Zeew, 1980).
El peso específico es considerado como uno de los mejores indicadores de la resistencia y de las propiedades mecánicas en la madera (Aróstegui, 1982).

Cuadro 2. Clasificación de las maderas según sus propiedades físicas, sin considerar el contenido de humedad

Rangos de clasificación	PROPIEDADES FISICAS			
	Densidad básica (g/cm3)	Contracción volumétrica (%)	Relación T/R	estabilidad
Baja	< 0.4	< 10	< 1.6	Muy estable
Media	0.41-0.60	10.1-13	1.6-2.0	Estable
alta	> 0.61	> 13.1	> 2.0	Muy estable

Fuente: PADT-REFORT/JUNAC (1989).

2.2.2 Características generales de *G. crinita*

a. Taxonomía y descripción botánica

Según Lao (1969) y Taquire (1987), *G. crinita* presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino : Vegetal
División : Fanerógama
Orden : Malvales
Familia : Sterculiaceae
Género : *Guazuma*
Especie : *Crinita* Martius.
Sinónimos : *Guazuma rosea* Poeppig.
Nombre común : Bolaina blanca

G. crinita es un árbol de hasta 35 m de altura y 50 cm de diámetro. Tronco cilíndrico, sin aletones o con aletas pequeñas, con ramificación en el tercer tercio, de copa pequeña y rala. Corteza de color gris o negruzco, agrietada o fisurada. Hojas simples alternas y dísticas (10-18 x 5-7cm) dispuestas en un solo plano, con estipulas pequeñas y caducas. Las inflorescencias son panículas axilares (8-12 x 3-6cm). Las flores son pequeñas (8-12mm), hermafroditas, con cáliz y corola presentes, los pedicelos de 4-8 mm, el cáliz de 2-3 mm, la corola de 6-12 mm, de

color rosado, con cinco pétalos, cada uno de ellos en forma de cuchara y con dos largos apéndices en el extremo. Frutos pequeños (4-8mm), capsular y dehiscentes, cubiertos de pelos marrones largos (3-4cm). La corteza interna es fibrosa y conforma un tejido finamente reticulado color amarillo claro, oxida rápidamente a marrón y se desprende en tiras al ser jalada (Flores 2004; Rochon *et al*. 2007; Soudre 2011; Putzel *et al*. 2013).

La floración y fructificación ocurre anualmente. La floración dura aproximadamente 2 meses, posteriormente las flores caen y el árbol permanece solo con hojas por 3 a 4 semanas hasta que empiezan a aparecer los frutos. La maduración de los frutos dura entre 2 a 3 meses y la diseminación de semillas alcanza su máxima intensidad en los meses de Septiembre y Octubre (final de la época seca) (Flores 2004; Soudre 2011).

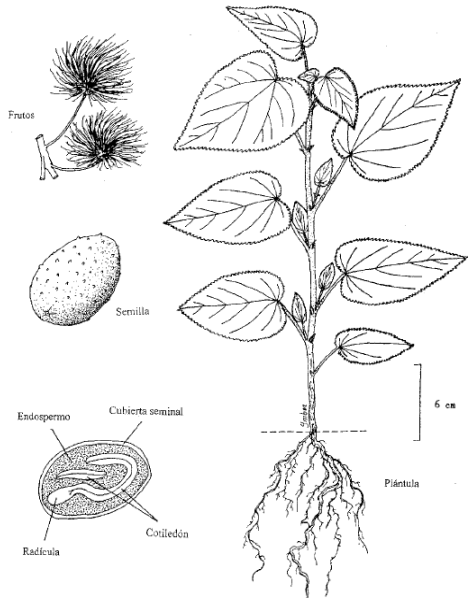
La semilla es pequeña (1 mm de diámetro), con embrión bien desarrollado, posee entre 10 a 20 semillas por fruto y un promedio de 860 000 en 1 kg. No se requiere ningún tratamiento pre germinativo, la germinación inicia entre el 7 y 15 días después del almacigado obteniendo con semillas recién cosechadas entre 30 a 60 % de germinación (germinación epigea). Para almacenar las semillas la mejor temperatura es de 25°C, considerándose aceptable hasta los 8 meses. Las semillas de esta especie se pueden considerar como moderadamente ortodoxas (IIAP 2009; Soudre 2011).

La plántula posee raíz principal marrón claro, cotiledón pequeño, foliáceo, persistente y verde. El tallo principal cilíndrico, ligeramente pulverulento. El limbo es ovado a subcordado, borde desigualmente dentado, y presencia de pelos cortos dispersos en el haz y envés (Flores 2004; IIAP 2009; Soudre 2012).

b. Ecología

La distribución geográfica de *G. crinita* es muy amplia en el Neotrópico desde Centroamérica a la región Amazónica, hasta el sur de Brasil y Bolivia, mayormente hasta los 1 500 m.s.n.m. esta especie abunda en la Amazonía peruana encontrándose mayormente en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Su distribución también ocurre zonas inundables y no inundables de bosques primarios y secundarios (Flores, 2000). Bolaina blanca es una especie de rápido crecimiento y con presencia relativamente abundante en el sector aluvial de la cuenca del río Aguaytía (Soudre 2012; Putzel *et al*. 2013).

Es una especie heliófita, característica de la vegetación secundaria temprana, muy abundante en la cercanía a caminos y zonas con alteración antropogénica. 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).



Fuente: Flores 2004.

Figura 3. Principales características morfológicas de *Guazuma crinita*

Soudre (2012), determinó doce variables edafo-fisiográficas de incidencia en el crecimiento de esta especie (Cuadro 3), de las cuales el pH y el porcentaje de arena, son las que mejor explicaría su crecimiento. También realizó una zonificación ecológica para esta especie dentro de la cuenca del río Aguaytía, evidenció que casi un tercio de la cuenca tendría la mejor condición para su cultivo, es decir, 272,530.1 ha con aptitud alta (15.2%) y 284,521.1 ha. con aptitud media alta (15.9%), el porcentaje restante 1´230,000 ha (68.9%) no sería recomendable para su cultivo, este último porcentaje incluye los cuerpos de agua.

c. Usos

En el departamento de Ucayali, bolaina blanca es transformada principalmente en madera aserrada (traslapada/machihembrado). Adicionalmente existe un sector micro industrial de pequeños aserraderos móviles que se dedica a la fabricación de tablillas para la construcción de casas que abastecen necesidades de mercados regionales y nacionales (Obs. Personal).

Además es usada regularmente en cajonería, carpintería en general, laminado, juguetería, palitos de chupete, palitos de fósforos, paletas de consultorio médico, pulpa para papel, y madera aserrada (Aróstegui 1974, Encarnación 1983). Weber *et al*. (1999) mencionan que *G. crinita* es preferida para postes de construcción. La corteza interna fibrosa es empleada localmente como material de amarre.

COTESU (1991), afirma que la variedad de usos de la bolaina blanca depende de los diámetros de las trozas, con diámetros gruesos se pueden obtener listones y madera traslapada para paredes de vivienda o para la elaboración de casa pre fabricado, y los diámetros delgados, se utiliza para la fabricación de cajonería y marco de esterillas.

Cuadro 3. Matriz que describe las "clases de aptitud" para el establecimiento de Bolaina blanca

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
		CIC (meq)	> 20	15-20	< 15
		PSB (%)	> 80	70-80	< 70
		Ca (meq)	> 18	12-18	< 12
FISIOGRAFICO	PAISAJE	Drenaje	Moderado	Bueno a moderado	Muy bueno
		Nivel de inundación (m)	< 0.5	0.5-1	> 1
		Fisiografía	Orillales-Tzas. medias	Tzas. Onduladas-lomadas	> colinas altas
		Pendiente (%)	Plano-ligeramente incl. (0-4)	Inclinaciones fuertes (15-25)	Empinado (> 25)
		Profundidad efectiva (cm)	Muy profunda (>150)	Mod. Prof-profunda (50-150	Superficial (<50)

Fuente: Soudre (2012).

2.2.3 Algunos aspectos genéticos referidos al estudio

Si una especie tiene una continua distribución natural a través de una amplia zona geográfica, se puede indicar muchas "procedencias locales" y la diferenciación visible entre estas no se evidencia por sí misma (Dawson *et al*. 2012). De otro lado, las diferencias genéticas entre procedencias pueden regularmente ser bastante grande, especialmente en especies que tienen

amplia distribución ocupando muchos climas diversos (unidades fisiográficas) (White *et al*. 2007).

El flujo de genes a través de la dispersión de polen y semillas tiende a reducir las diferencias genéticas entre las poblaciones (White *et al.* 2007), por ejemplo la semilla de *G. crinita* es de peso liviano y fácilmente dispersa por el viento y el agua; sobre esto Hamrick *et al.* (1992) citado en Weber y Sotelo (2011) menciona que, esta característica reproductiva probablemente resulte en un extenso flujo genético, produciendo así una considerable variación genética dentro de poblaciones pero relativamente poca diferenciación entre poblaciones. Con referencia a la relación entre la dispersión de polen y semilla con los medios físicos de dispersión (ríos), Dawson *et al*. (2012) menciona que en los cuerpos de agua especialmente en las cuencas existe mayor variabilidad genética aguas arriba y menor variabilidad aguas abajo.

El hecho de que exista mayor variación dentro de los árboles de una unidad fisiográfica que entre ellas, sugiere que se puede ganar más seleccionando los mejores árboles dentro de cada unidad fisiográfica en una cuenca determinada (Weber *et al.* 2011). Elegir al árbol adecuado para ser usada en un lugar en particular es crítico para obtener una sobrevivencia optima, mayor productividad y salud de la plantación (White *et al*. 2007).

Campbell y Sorensen´s (1978) citado en Rochon *et al*. (2007) plantearon la hipótesis de que la expresión de la variación genética sobre las características de crecimiento será mayor en ambientes en donde los árboles crecen más rápido. Por su parte Dawson *et al*. (2012), menciona que debido a la adaptabilidad genética, las semillas de diferentes árboles provenientes de distintas unidades fisiográficas pueden diferenciarse mucho en la manera cómo crecen cuando son plantados fuera de su lugar común.

Por otro lado, la interacción genotipo x ambiente ocurre en muchos niveles genéticos (especie, procedencia, árbol, clon) (White *et al*. 2007); así, el hecho de que una sola especie sea favorecida sobre una amplia zona, implica que la interacción especie x ambiente es mínima dentro de esta zona; en especies como estas, una fuerte interacción especie x ambiente solamente es encontrada si existe un gran cambio en clima y en condiciones edáficas. Las especies con una distribución limitada y de pequeñas poblaciones típicamente tienen bajos niveles de diversidad genética (White *et al.* 2007).

Si la variación genética de una característica del árbol en un área en particular es alta y si la variación ambiental es baja, entonces existen buenas oportunidades para seleccionar individuos genéticamente superiores. De otro lado, si la variación ambiental es alta y la variación genética baja, entonces será difícil mejorar esa característica genéticamente (Dawson *et al*. 2012).

Los efectos medioambientales sobre el fenotipo incluyen a todos los factores no genéticos tales como el clima, elevación, las precipitaciones, la temperatura, la fertilidad del suelo, plagas, enfermedades etc. los cuales causan tremendas diferencias en el crecimiento, forma y morfología del árbol (White *et al*. 2007).

Sobre la influencia de la genética sobre las propiedades físicas de un árbol White *et al*. (2007) y Zobel y Talbert (1988) citado en Weber y Sotelo (2008) mencionan que en general la densidad de la madera está bajo mayor control genético, mientras que las características de crecimiento tienden a ser afectadas más por factores medioambientales.

2.3 Definición de términos básicos

Contracción: es la disminución de las dimensiones que sufre la madera cuando pierda humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. El valor de las contracciones suele expresarse como un porcentaje de alguna de las dimensiones que tenía la madera en estado verde. Puede ser longitudinal, tangencial, radial y volumétrica.

Densidad básica: relación entre la masa seca al horno y el volumen verde.

Densidad anhidra: relación entre la masa seca al horno y el volumen en el mismo estado.

Relación T/R: se define como la relación entre la contracción tangencial y la contracción radial.

Progenie: Linaje o familia de la cual desciende un individuo.

Unidad fisiográfica: es la descripción individual de zonas de la naturaleza a partir del estudio del relieve y la litosfera, en conjunto con el estudio de la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera

Correlación: En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra.

2.4 Variables

2.4.1 Variable independiente (cualitativas)

- Unidades fisiográficas: Bosque de colinas bajas (B-cb) y el Bosque de terrazas aluviales(B-ta)
- Niveles de altura del fuste de *G. crinita*: base, medio y ápice
- Naturaleza genética de la madera de *G. crinita*

2.4.2 Variable dependiente (cuantitativas)

- Las propiedades físicas de *G. crinita* (contenido de humedad, densidad, peso específico y las contracciones tangencial/radial y volumétrica)

III. MÉTODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es del tipo descriptivo y de nivel explicativo-correlacional; una correlación es una medida del grado en que dos variables (propiedades físicas y características genéticas) se encuentran relacionadas.

3.2 Método de la investigación

3.2.1 Lugar de ejecución del experimento

El rodal semillero de *G. crinita* del INIA-Pucallpa, se encuentra ubicada en la Región de Ucayali, provincia de Coronel Portillo, Distrito de Calleria, en la carretera Federico Basadre Km 4, situado en las coordenadas N884431 y E389795 a una altitud de 154 msnm (Anexo 6), con temperatura promedio anual de 25.2ºC, precipitación promedio de 2 344 mm y humedad relativa de 84 %. Para instalar el rodal, utilizaron semillas de árboles plantados en tres zonas de la cuenca del río Aguaytía en el 2001, descritos anteriormente; almacigadas en el vivero forestal del ICRAF en año 2006 y cuando los plantones ya tuvieron aproximadamente 50 cm de alto fueron plantados al azar dentro de las instalaciones del INIA, constituyendo así el rodal semillero existente hoy en día; de los cuales se seleccionaron 12 individuos para el presente estudio, seis de la zona alta y seis de la zona baja; llamados en este estudio: Bosque de colinas bajas (B-cb) y Bosque de terrazas aluviales (B-ta) respectivamente.

La determinación de las propiedades físicas de esta investigación se desarrolló en los laboratorios de Anatomía de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU) y de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA).

3.2.2 Obtención del material biológico

El material biológico provino del rodal semillero de *G. crinita* del INIA-Pucallpa (Anexo 7), de todos los árboles se determinó aquellos que procedían del B-cb y del B-ta descrito anteriormente; de cada unidad fisiográfica se seleccionó seis árboles de diferentes procedencias. Las unidades fisiográficas difieren en altitud, fertilidad del suelo y precipitación según el cuadro 4.

3.3 Procedimiento

3.3.1 Obtención de las probetas

a. Selección de los árboles

Los árboles fueron tomados del rodal semillero del INIA-Pucallpa, se consideró el buen estado fitosanitario del individuo y que tengan diferentes diámetros según la norma técnica peruana NTP 251. 008 (1980).

Se registró la altura total de los fustes de *G. crinita* por procedencias y unidades fisiográficas (Anexo 1). La edad de todos los árboles era de nueve años y la altura promedio fue 12.5 m.

Cuadro 4. Características edafoclimáticas de dos unidades fisiográficas de la cuenca de los ríos Aguaytía y Pachitea

Unidad fisiográfica	Procedencia	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Fertilidad de suelo	Precipitación anual
B-cb	Puerto Inca (PI)	503328	8958727	de 230 a 290	Fértil aluvial fértil no aluvial	de 1700 a > 2500
	Río Aguaytía (A)	461057	9025361			
	Río San Alejandro (SA)	486156	9021267			
B-ta	Carretera de Tournavista (T)	532223	9012540	de 150 a 185	infértil fértil aluvial	de 1400 a 1700
	Quebrada Curimaná (C)	491115	9074726			
	Quebrada Nueva Requena (NR)	518637	9095053			

B-cb= Bosque de colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales
Fuente: Modificado de Rochon *et al*. (2007)

b. Extracción de las rodajas

Con la motosierra se sacaron seis rodajas por árbol, dos por cada nivel del fuste (base, medio y ápice), de los cuales tres fueron para los ensayos físicos y los otros tres fueron las muestras “referenciales”, estas últimas muestras serán usadas en investigaciones posteriores con la fin de observar alguna diferencia si la hubiera en el color, textura y disposición del grano tanto de la madera como de la corteza.

El espesor de las rodajas fue de 15 cm para las pruebas de las propiedades físicas y 5 cm para las referenciales. La extracción de la rodaja del nivel base estuvo supeditada a la altura de las aletas de la raíz, el nivel medio correspondió al centro del fuste, y el nivel superior se consideró hasta el nacimiento de la primera rama.

c. Acondicionamiento de rodajas

Luego de obtener las rodajas se pintó con pintura esmalte color negro ambos extremos del corte transversal para evitar la pérdida de humedad. Después de esto fueron juntadas, codificadas y amarradas por cada árbol (Anexo 8).

d. Obtención de las probetas

Se realizó en el taller de carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU). Se redujo el espesor de las rodajas de 15 a 10 cm, luego en una de las caras superficiales de cada rodaja, se trazó una cruz de igual longitud al diámetro de cada rodaja; pero con un ancho común de 20 mm teniendo como punto de intersección la médula (Figura 4). Con las líneas se hicieron cuatro cortes longitudinales para obtener tablillas equidistantes separadas por un ángulo de 90°. El cuadrado de la médula fue desechado.

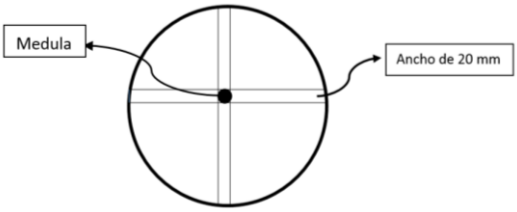


Figura 4. Rodaja mostrando la médula y la cruz

Obtenidas las cuatro tablillas, se hicieron cortes transversales a la cruz cada 20 mm, obteniendo así de uno a tres (dependiendo del radio de la rodaja) probetas de 20 x 20 x 100 mm (Figura 5). Estas probetas fueron codificadas y agrupadas por nivel de fuste y unidad fisiográfica. En todas las probetas se determinaron las propiedades físicas en estudio en los tres estados de evaluación: saturado (verde), seco al aire y seco al horno.

Se obtuvieron en total 186 probetas de 100 x 20 x 20 mm, 92 de la base, 56 del medio y 38 del ápice de los fustes de 12 árboles de *G. crinita* de 9 años de edad del rodal semillero en el INIA-Pucallpa.

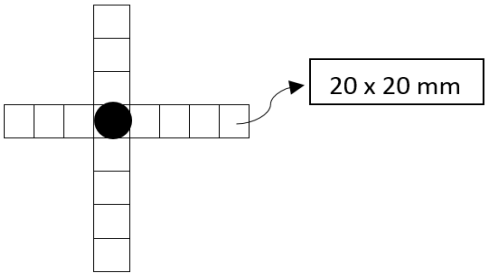


Figura 5. Cortes transversales a la cruz para obtener las probetas

Todas las probetas fueron codificadas teniendo como referencia el tipo de unidad fisiográfica, número de árbol, el nivel de fuste, la posición según la médula (izquierdo, derecho, superior e inferior) y el número de la probeta, considerando el orden ascendente desde la médula hasta la corteza; un ejemplo se muestra a continuación:

Código: EA2-M-D3

Donde:

B-cb= Bosque de colinas bajas
2= Árbol N° 2
M = Medio
D = Derecho
3 = probeta N° 3

Para obtener las propiedades físicas por nivel de fuste, se promediaron los valores de cada probeta (izquierdo, derecho, superior e inferior). En todas estas actividades se tuvo especial cuidado en que cada probeta no pierda ni gane humedad hasta empezar los ensayos físicos, para ello se transportó en bolsas plásticas (Anexo 10), hasta el Laboratorio de Anatomía y Propiedades Físicas de la Madera de la UNU. El tiempo de transporte fue de tres minutos y después de esto se comenzó la determinación de la densidad saturada (verde) en cada probeta, de la siguiente manera: primero se pesó la probeta en una balanza analítica y luego se determinó el volumen multiplicando las longitudes de las caras tangencial, radial y transversal (figura 6), para luego dividir el peso entre el volumen.

3.3.2 Determinación de las propiedades físicas de las probetas

Todas las propiedades físicas a excepción de la densidad saturada (realizada en el laboratorio de la UNU) se realizaron en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA).

Las normas técnicas que se usaron en los respectivos ensayos fueron: para el Contenido de humedad la NTP 251.010, para Densidad la NTP 251.011 y para Contracción la NTP 251.012.

Para determinar la contracción radial, tangencial y longitudinal se trazó líneas con un lápiz en las caras tangencial, radial y transversal respectivamente con el fin de que las mediciones con el vernier digital sean cada vez en el mismo lugar (Figura 6, Anexo 12). Para determinar el peso de las probetas en sus diferentes estados (verde, ambiente y seco) se usó una balanza analítica (± 0.001 precisión) (Anexo 13).

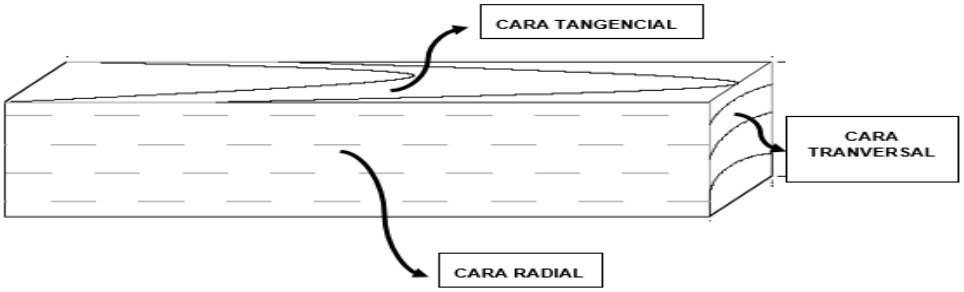


Figura 6. Marcas en la probeta para ser medidas

Las evaluaciones en condición “saturada” solo se hicieron una sola vez, mientras que en las condiciones “seca al aire” y “seca al horno” se realizaron de la siguiente manera:

a. Condición seca al aire

Al día siguiente después de la evaluación en estado “saturado”, se inició la evaluación en estado “seco al aire”. Estas evaluaciones se realizaron por tres días seguidos, después se redujeron a dos veces por semana y se terminó con una sola evaluación semanal hasta obtener el peso constante; en este estado se realizaron un total de siete evaluaciones en cuatro semanas. Se midió las longitudes tangencial, radial y transversal y se pesó cada probeta dejando secar de forma natural, la disposición de las probetas para el secado fue entrecruzado (Anexo 11) en un ambiente con techo (laboratorio de anatomía y propiedades físicas de la UNIA) y con buena ventilación.

b. Condición seco al horno

Después de obtener el peso constante en la condición “seca al aire”, todas las probetas fueron introducidas a una estufa convencional a 60°C de temperatura (Anexo 14) que luego se fue incrementando gradualmente de 60 a 80 y a 103 °C, con un intervalo de 24 horas entre cada

incremento de temperatura con el fin de evitar rajaduras, a todas las probetas se las retiró de la estufa dos horas después del último incrementó de temperatura (103°C), este tiempo fue calculado según la experiencia del asesor tratando de evitar deformaciones excesivas en las probetas.

En las tres condiciones (saturadas, secas al aire y secas al horno) los resultados de las evaluaciones sirvieron para determinar posteriormente a través de fórmulas las contracciones radial, tangencial, longitudinal y volumétrica; así como para la densidad básica, peso específico, relación tangencial/radial y contenido de humedad.

También en el período de evaluación (cuatro semanas) se registró las fluctuaciones de la densidad y del volumen de la madera de *G. crinita* por unidad fisiográfica (Anexo 2 y 3), en ambos casos el estado "saturado" correspondió a la evaluación Nº 1, "seco al aire" desde la evaluación Nº 2 al Nº 8 y "seco al horno" a la evaluación Nº 9.

3.3.3 Relación de las propiedades físicas con la variabilidad genética

Las propiedades físicas de *G. crinita* por unidad fisiográfica, fueron relacionados con los principales resultados sobre su variabilidad genética obtenido por Tuisima *et al.* (2016) de la siguiente manera:

a. Relación con el índice de diversidad de genes de Nei (*He*)

El índice de diversidad de genes de Nei (*He*), se basó en el porcentaje de bandas polimórficas visualizadas en rayos UV después de la corrida electroforética en gel de agarosa (2%), con iniciadores no específicos realizado por Tuisima *et al*. (2016). Este índice puede indicar la variabilidad genética de un individuo como de una población.

Para este análisis se utilizó el *He* de todos los árboles pertenecientes de ambas unidades fisiográficas y la sumatoria del coeficiente de variabilidad (CV) de todas las propiedades físicas en estudio por unidad fisiográfica, debido a que ambos estadísticos indican variabilidad tanto genética como física respectivamente. El análisis consistió en realizar una correlación de Pearson entre estos dos estadísticos con la finalidad de determinar el grado de dependencia (R^2).

Para categorizar el grado de correlación existente en todos los análisis, se usó el siguiente cuadro:

TIPO DE CORRELACION	
Nula	r = 0
Muy baja	0 < r < 0.2
Baja	0.2 < r < 0.4
Moderada	0.4 < r < 0.6
Alta	0.6 < r < 0.8
Muy alta	0.8 < r < 1
Perfecta	r = 1

Fuente: PADT-REFORT/JUNAC (1989)

b. Relación con las distancias geográficas.

Las propiedades físicas de densidad básica (Db) y contenido de humedad (CH) fueron relacionadas con las distancias geográficas (longitud) por procedencia de cada unidad fisiográfica. Se realizó una correlación lineal con la finalidad de determinar si estas propiedades tienen alguna dependencia con el incremento o disminución de la longitud.

Por otro lado, también se realizaron correlaciones de la densidad básica con la contracción, con el contenido de humedad y con el peso específico por unidad fisiográfica. También se hicieron figuras sobre las fluctuaciones del volumen y densidad durante todo el período de evaluación (Figura 7), con la finalidad de observar y predecir el comportamiento de la madera al secado.

3.3.4 Diseño de la investigación

La descripción de las propiedades físicas (peso específico, contenido de humedad, relación T/R y densidad básica) se realizó en tres niveles del fuste por cada unidad fisiográfica, y en cada nivel se calculó el promedio, el valor mínimo, el valor máximo y el coeficiente de variabilidad. Estos resultados son mostrados en un cuadro (Anexo 4).

Para la obtención de los resultados de las propiedades físicas se utilizó las siguientes formulas:

a) Contenido de humedad

$$CH\ (\%) = \frac{ph - ps}{ps} x100$$

Dónde ph : Peso húmedo, verde o saturado

ps : Peso seco al horno.

b) Contracción

- contracción radial

$$Cr\ (\%) = \frac{vr\ (CH > 30\%) - sr(CH = 0\%)}{vr(CH > 30\%)} x\ 100$$

- Contracción tangencial

$$Ct\ (\%) = \frac{vt\ (CH > 30\%) - st(CH = 0\%)}{vt(CH > 30\%)} x\ 100$$

- Contracción longitudinal

$$Cl\ (\%) = \frac{vl\ (CH > 30\%) - sl(CH = 0\%)}{vl(CH > 30\%)} x\ 100$$

- Contracción volumétrica

$$Cv\ (\%) = \frac{vv\ (CH > 30\%) - sv(CH = 0\%)}{vv(CH > 30\%)} x\ 100$$

Donde:

$vr\ (CH > 30\%)$: dimensión radial verde con un contenido de humedad mayor al 30%

$vt\ (CH > 30\%)$: dimensión tangencial verde con un contenido de humedad mayor al 30%

$vl\ (CH > 30\%)$: dimensión longitudinal verde con un contenido de humedad mayor al 30%

$vv\ (CH > 30\%)$: dimensión volumétrica verde con un contenido de humedad mayor al 30%

$sr(CH = 0\%)$: dimensión radial seca al horno con contenido de humedad aprox. 0%

$st(CH = 0\%)$: dimensión tangencial seca al horno con contenido de humedad aprox. 0%

$sl(CH = 0\%)$: dimensión longitudinal seca al horno con contenido de humedad aprox. 0%

$sv(CH = 0\%)$: dimensión volumétrica seca al horno con contenido de humedad aprox. 0%

c) Densidad

$$\int s(g/cm^3) = \frac{ps\ (CH > 30\%)}{vs\ (CH > 30\%)}$$

$$\int a(g/cm^3) = \frac{pa\ (CH = equibrio)}{va\ (CH = equilibrio)}$$

$$\int h(g/cm^3) = \frac{ph\ (CH = 0\%)}{vh\ (CH = 0\%)}$$

$$\int b(g/cm^3) = \frac{ph\ (CH = 0\%)}{vs\ (CH > 30\%)}$$

Donde:

$\int s$: densidad saturada

$\int a$: densidad seca al aire

$\int h$: densidad seca al horno

$\int b$: densidad básica

ps : peso saturado

pa : peso seco al aire

ph : peso seco al horno

vs : volumen saturado

va : volumen seco al aire

vh : volumen seco al horno

d) Peso específico

$$Pe = \frac{ph\ (CH = 0\%)}{va\ (CH = 12\%)\ x\ densidad\ del\ agua}$$

Donde:

Pe : peso especifico

ph : peso seco al horno

va : volumen seco al aire

3.3.5 Tratamiento estadístico

Para el análisis de las relaciones entre las propiedades físicas y de estas con las propiedades genéticas se realizaron correlaciones lineales simples según la fórmula:

$$Y_i = B_o + B_1X_i + E_i$$

Donde:

Y_i = variable respuesta

B_o = intersección o termino constante

B_1 = influencia de las variables independientes sobre las dependientes

X_i = influencia de las variables dependientes sobre las independientes

E_i = error

3.4 Población y muestra

La población estuvo conformada por todos los árboles de *G. crinita* del rodal semillero del INIA-Pucallpa provenientes de dos unidades fisiográficas (Bosque de colinas bajas y el Bosque de terrazas aluviales) de la cuenca de los ríos Aguaytía y Pachitea, que estuvieron plantados al azar en un promedio de 18 individuos por unidad fisiográfica constituyendo una población total de 36 árboles.

El cálculo de la muestra se basó en las recomendaciones de Arostegui (1974), quien menciona que se debe usar por lo menos cinco arboles por especie para realizar ensayos de propiedades físicas y a partir de ellas obtener un promedio. Del mismo modo, estos cálculos coincidieron con la experiencia del Ing. MSc. David LLuncor Mendoza; es así que la muestra lo conformaron 12 individuos (seis individuos por unidad fisiográfica) del rodal semillero, representando el 33% de la población total.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas de *G. crinita* del rodal semillero INIA-Pucallpa, proveniente de dos unidades fisiográficas

4.1.1. Contenido de humedad (CH)

El menor CH (57.68 %) se encontró en el Bosque de terrazas aluviales (B-ta) y el mayor (94.65 %) en el Bosque de colinas bajas (B-cb) (Anexo 4). A nivel longitudinal del fuste para todos los árboles de ambas unidades fisiográficas el CH en la parte basal (73.93 %) y apical (74.07 %) son relativamente homogéneas, localizándose el valor mínimo en la parte media del fuste (68.54 %) (cuadro 5); similares resultados obtuvo Taquire (1987) para la parte basal, apical y media en 72, 70 y 63 % respectivamente; el CH promedio para los tres niveles (72%) fue relativamente mayor a lo reportado por Taricuarima (2004) (65%). El hecho que el menor contenido de humedad se encuentre en el medio del fuste es debido a que la albura es de mayor espesor en esta parte coincidiendo con (Díaz 2008), quien menciona que esto es causado por un crecimiento desordenado de los tejidos de conducción.

4.1.2. Contracción tangencial/radial (T/R)

La relación entre la contracción tangencial y radial (T/R) a nivel longitudinal para todos los árboles de ambas unidades fisiográficas, van decreciendo de la base del árbol hacia la copa (de 1.83 a 1.31) (Cuadro 5), similar resultado (1.79 a 1.49) obtuvo Taquire (1987); la mayor contracción T/R en la base es debido a que las células de esta parte tienen mayor espesor de pared celular en comparación a las células del ápice. A nivel longitudinal en ambas unidades fisiográficas el valor medio (1.56) fue similar al reportado por Aróstegui (1974) de 1.60. Del mismo modo, la contracción tangencial y radial decrece desde la base al ápice del fuste de 6.62 a 3.91 % y de 3.78 a 3.27 % respectivamente, contrariamente la contracción longitudinal aumenta desde la base hasta el ápice de 0.14 a 0.27 % (cuadro 6), esto es debido a la edad joven de las células alargadas (fibras) que están en proceso de formación y estabilidad en el ápice en comparación a las fibras maduras de la base. Las medias de la contracción tangencial y radial (4.92 y 3.33 %), son similares a las reportadas por Domínguez s.f (5.59 y 3.51 %), mientras que la contracción longitudinal fue despreciable (0.2 %). Según Ananías (2006) la contracción volumétrica encontrada (8.26 %) es baja (Cuadro 6). Todas estas contracciones son comunes en maderas blandas según PADT-REFORT/JUNAC (1989).

Cuadro 5. Promedio y coeficiente de variabilidad del peso específico, contenido de humedad, relación T/R y densidad básica de *Guazuma crinita,* por unidad fisiográfica y niveles de fuste.

	Base		Medio		Ápice		
Peso específico (Pe)	prom.	CV	prom.	CV	prom.	CV	Promedio
B-cb	0.512	6.627	0.396	11.383	0.402	9.274	0.437
B-ta	0.519	6.437	0.412	10.186	0.412	10.326	0.448
prom.	0.516	6.532	0.404	10.785	0.407	9.800	0.442
Contenido de humedad (%)							
B-cb	75.191	15.235	70.161	8.914	75.426	8.978	73.593
B-ta	72.680	14.109	66.937	10.296	72.722	4.894	70.779
prom.	73.935	14.672	68.549	9.605	74.074	6.936	72.186
Relación T/R							
B-cb	1.713	33.757	1.597	26.917	1.199	24.400	1.503
B-ta	1.950	18.806	1.468	26.934	1.433	31.474	1.617
prom.	1.831	26.281	1.533	26.925	1.316	27.937	1.560
Densidad básica (g/cm^3)							
B-cb	0.485	6.802	0.381	12.037	0.387	7.327	0.417
B-ta	0.491	6.936	0.397	9.128	0.399	9.872	0.429
prom.	0.488	6.869	0.389	10.583	0.393	8.600	0.423

B-cb= Bosque de colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales, prom= promedio, CV= coeficiente de variabilidad

4.1.3. Peso específico (Pe)

El Pe promedio en ambas unidades fisiográficas fue similar en el medio (0.40) y en el ápice (0.40) (Cuadro 5), el valor mínimo (0.32) se encontró en la parte media de los árboles provenientes de B-cb y el valor máximo (0.57) se encontró en la base de los árboles provenientes de B-ta (Anexo 4). La ubicación de estos resultados en función a las unidades fisiográficas son contrarios para los resultados máximos y mínimos del CH, esto demuestra que a mayor CH, menor Pe y que los árboles que poseen mayor CH y menor Pe están ubicados en B-cb, caso contrario se encuentra en B-ta. El hecho que a mayor CH, exista menor Pe en algunos árboles, obedece a que éstos poseen en la madera mayor cantidad de espacios vacíos, donde se acumula el agua; lo cual disminuye el grosor de la fibra haciéndola menos pesada, coincidiendo con los resultados de Wrigth y Osorio (1992), Weber y Sotelo (2005) y Weber y Sotelo (2008).

Cuadro 6. Contracciones de la madera de *Guazuma crinita* por unidad fisiográfica y niveles de fuste

CONTRACCION %	NIVEL DE FUSTE			Promedio
Longitudinal	Base	Medio	Ápice	
B-cb	0.12	0.20	0.29	0.20
B-ta	0.16	0.22	0.25	0.21
prom.	0.14	0.21	0.27	0.21
Tangencial				
B-cb	6.40	4.30	3.94	4.88
B-ta	6.85	4.15	3.88	4.96
prom	6.62	4.23	3.91	4.92
Radial				
B-cb	3.96	2.84	3.65	3.49
B-ta	3.60	3.02	2.88	3.17
Prom.	3.78	2.93	3.27	3.33
Volumétrica				
B-cb	10.24	7.18	7.67	8.36
B-ta	10.31	7.23	6.91	8.15
prom.	10.28	7.21	7.29	8.26

B-cb= Bosque de colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales, prom= promedio

4.1.4 Densidad básica (Db)

La Db promedio a nivel de longitud total de fuste de todos los árboles en ambas unidades fisiográficas fue de 0.423 g/cm^3 (Cuadro 5), ligeramente mayor a lo reportado por Domínguez s.f (0.410 g/cm^3), Palomino y Barra (2003) (0.375 g/cm^3) y por Weber y Sotelo (2008) (0. 417 g/cm^3), este último posiblemente es debido a la poca edad de los árboles (1.5 años) a diferencia de lo hallado en la presente tesis, en donde los árboles tenían nueve años, y además la muestra usada provino de una zona más seca (rodal INIA-Pucallpa); la menor Db (0.317 g/cm^3) se encontró en la parte media de los árboles provenientes de B-cb y el máximo (0.541 g/cm^3) en la base de los árboles provenientes de B-ta (Anexo 4). Similar comportamiento fue reportado por Weber y Sotelo (2008) y Weber y Sotelo (2005) para *C. spruceanum*; el hecho que la mayor densidad se encuentre en la base puede ser una respuesta del esfuerzo a la flexión producido por el viento, esta flexión es reducida incrementando la dureza de los tejidos de soporte en dicha parte del fuste (Weber y Sotelo 2008).

4.1.5. Variación del volumen y de las densidades

El volumen promedio de las probetas en estado “saturado” para todos los árboles en ambas unidades fisiográficas fue de 40.86 cm^3 y en estado “seco al horno” fue de 37.48 cm^3, habiendo decrecido en 8.27 % (Anexo 3).

La densidad promedio de las probetas en estado “saturado” para todos los árboles en ambas unidades fisiográficas fue de 0.73 g/cm^3 y en estado “seco al horno” fue de 0.46 g/cm^3 habiendo decrecido en 37 % (Anexo 2). Se observó una disminución más rápida de la densidad, en comparación al volumen, demostrando que la madera de esta especie es altamente higroscópica (Taricuarima 2004).

Por otro lado, como resultado esperado, todos los árboles en cada unidad fisiográfica tuvieron una correlación positiva entre el volumen y la densidad, coincidiendo con los hallazgos de Taquire (1987) y Taricuarima (2004). Esta correlación positiva entre el volumen y la densidad es debida que al aumentar el diámetro de los espacios vacíos en la madera, aumenta también la cantidad de agua acumulada en estos espacios.

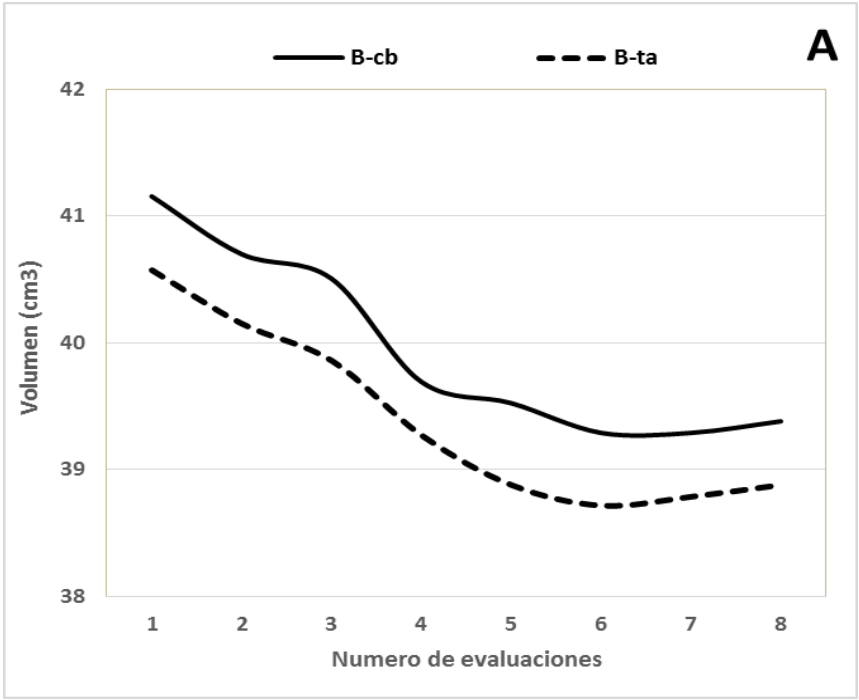
4.1.6 Correlaciones entre las propiedades físicas

Con respecto a las correlaciones entre las propiedades físicas; las correlaciones positivas muy altas se dieron entre la Db y el *Pe* (0.95), seguido por la Db y la densidad ambiente (DA*)* (0.93); por otro lado existió una correlación negativa moderada entre la Db y el CH (-0.41), esto porque la madera al aumentar su Db disminuye su CH, debido a que la pared celular de los tejidos de conducción son más gruesos en las maderas más densas, por lo tanto el agua libre de los lúmenes es mínima (Blume 1980, Mora 1983, Ananías 2006). La mayoría de las propiedades físicas no son significativas al correlacionarlas con la contracción T/R (Cuadro 7).

Cuadro 7. Correlación de Pearson entre las propiedades físicas de *G. crinita*

Propiedad física	Db	Pe	CH	DS	DA	DH	T/R
Db	1						
Pe	0.951**	1					
CH	-0.415**	-0.394**	1				
DS	0.781**	0.810**	NS	1			
DA	0.937**	0.903**	-0.350**	0.751**	1		
DH	0.856**	0.823**	-0.314**	0.686**	0.824**	1	
T/R	NS	NS	NS	0.150*	NS	NS	1

Nota: Db=densidad básica; Pe= peso específico; CH=contenido de humedad; DS= densidad saturada; DA= densidad ambiente; DH= densidad seco al horno; T/R=contracción tangencial/radial; NS= no significante; *Significante a *p*=0.05; **Altamente significante a *p*=0.01.



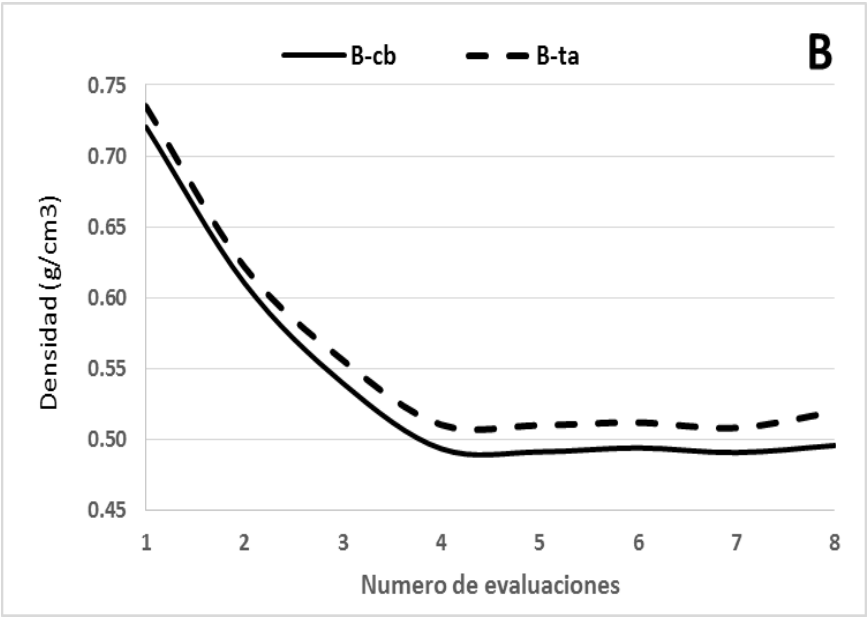


Figura 7. Variación del volumen (A) y densidad (B) de la madera de *Guazuma crinita* por unidad fisiográfica durante las evaluaciones (antes de secadas en horno) B-cb= Bosque de Colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales.

El Cuadro 8 muestra las correlaciones de las propiedades físicas: contracción volumétrica (Cv*),* CH *y* Pe con la Db por unidades fisiográficas y niveles de fuste. En general las correlaciones son positivas entre la Cv y Db, y entre Pe y Db pero negativa entre el CH y Db*.*

Las correlaciones promedio entre la Cv y Db para todos los árboles en ambas unidades fisiográficas son muy bajas y negativas en la base (-0.16) y altas y positivas en el medio (0.62) y en el ápice del fuste (0.60), esto demuestra que la mayor Cv se da en la base del fuste debido al mayor tamaño de la pared celular de los tejidos de conducción (Blume 1980, Mora 1983, Ananías 2006). Como consecuencia la correlación promedio entre la Pe y Db es muy alta y positivo en la base del fuste (0.95), pero muy bajo y negativo en el ápice (-0.2) y en relación a la longitud total del fuste presenta una correlación positiva alta (0.79). La correlación promedio entre el CH y Db fue negativa para los tres niveles de fuste, encontrándose una correlación muy alta en la base (-0.82), esto refuerza los resultados en donde el CH fue menor en la base del fuste.

Cuadro 8. Correlación de Pearson de la contracción volumétrica, contenido de humedad y peso específico con la densidad básica de la madera de *Guazuma crinita* por unidad fisiográfica y niveles de fuste.

	Densidad básica (Db)			
Contracción volumétrica (Cv)	Base	Medio	Ápice	Total
B-cb	-0.24	0.42	0.51	0.56
B-ta	-0.09	0.81	0.68	0.84
prom	-0.16	0.62	0.60	0.70
Contenido de humedad (CH)				
B-cb	-0.86	-0.61	-0.36	-0.33
B-ta	-0.79	-0.55	-0.52	-0.19
prom	-0.82	-0.58	-0.44	-0.26
Peso específico (Pe)				
B-cb	0.95	-0.07	-0.13	0.80
B-ta	0.95	0.10	-0.27	0.79
prom	0.95	0.01	-0.20	0.79

B-cb= Bosque de colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales, Total= correlación con la longitud total del fuste

Weber y Sotelo (2005), mencionan que existe una correlación negativa entre la Db y el contenido calorífico de la madera de *C. spruceanum,* esto refuerza el hecho que la Db es antagónico al CH pues el mayor contenido calorífico se da en maderas más secas.

Con respecto a la altura total de los árboles, se observó que los árboles más grandes (promedio 12.6 m) pertenecen al B-cb (Anexo 1) y que también presentan menor Db tanto en la base como en el ápice del fuste en comparación con los árboles del B-ta (Cuadro 5), esto es debido a que la densidad tiene un patrón genético más fuerte en comparación con otras características fenotípicas de crecimiento (Zobel y Talbert 1988; White *et al*. 2007), así queda demostrado en el

presente estudio, ya que a pesar que todos los árboles de ambas unidades fisiográficas han crecido en un mismo lugar (Rodal semillero INIA-Pucallpa), existen diferencias entre los promedios de cada unidad fisiográfica. Similar resultado obtuvo Weber y Sotelo (2005) en una zona con características edafoclimáticas similares al rodal INIA-Pucallpa, pero para una especie distinta (*C. spruceanum*).

Weber y Sotelo (2008), mencionan que en los árboles más grandes pertenecientes a bosques de colinas, la diferencia se da en el mismo fuste con mayores densidades en la base que en el ápice, e indican que esto es debido a que el crecimiento es más rápido en Bosque de colinas que en bosques de terrazas. Por otro lado, en los bosques de terrazas, los árboles más grandes tienen menor densidad que los más pequeños (Weber y Sotelo 2008); estas situaciones representan opciones al momento de decidir que madera usar, si la de mayor o menor densidad, dependiendo del tipo de unidad fisiográfica en que el evaluador se encuentre, por ejemplo si el evaluador se encuentra en un B-cb y quiere madera de *G. crinita* de mayor y menor densidad, solo deberá cortar los árboles más altos ya que esta diferencia de densidades se da en el mismo fuste; pero si el evaluador está en un B-ta, deberá cortar tanto árboles altos como bajos para obtener madera de menor y mayor densidad respectivamente.

4.2 Relación entre las propiedades físicas y los parámetros de diversidad genética de *G. crinita* determinados por Tuisima *et al*. 2016

4.2.1 Relación de las propiedades físicas con el índice de diversidad de genes de Nei (*He*)

El Cuadro 9, muestra la correlación entre el coeficiente de variabilidad (CV) de las propiedades físicas [A]: CH, T/R, Db y Pe y el índice de diversidad genética (*He*) por unidades fisiográficas [B]. El mayor promedio del CV entre las propiedades físicas antes descritas se obtuvo en la relación T/R (33.26 %), mientras que para el CH, Db y Pe los promedios fueron similares (12.51, 13.77 y 14.33 % respectivamente); las correlaciones de Pearson [A] X [B] tanto para el B-cb (R^2 = 0.16) como para el B-ta (R^2 = 0.11) son muy bajas, demostrando que los CV de las propiedades físicas en conjunto tienen poca relación con su índice de diversidad genética, esto coincide con las conclusiones de Tuisima *et al*. (2016), al mencionar que no existe un claro patrón de agrupamiento genético entre unidades fisiográficas.

Dentro de las propiedades físicas evaluadas, la Db obtuvo uno de los menores promedios de CV (13.77 %) coincidiendo con Weber y Sotelo (2008), quienes encontraron que el CV de la Db de *G. crinita* de poblaciones naturales de la cuenca Amazónica Peruana fue menor en

comparación al CV de las características de crecimiento (diámetro y altura de fuste); estos resultados tanto de la presente tesis como de Weber y Sotelo (2008), concuerdan con la hipótesis formulada por Zobel y Talbert (1988) y White *et al*. (2007), quienes mencionan que la densidad esta menos influenciada por factores externos (edafoclimáticas) y que más bien sigue un patrón genético; y por lo contrario, las características de crecimiento son más cambiantes en función a este factor.

Cuadro 9. Correlación de Pearson entre el coeficiente de variabilidad de las propiedades físicas de *Guazuma crinita* y el índice de diversidad genética por unidad fisiográfica

Unidad fisiográfica	Procedencia	No Árbol	Coeficiente de variabilidad (CV) %				Total [A]	Diversidad genética [B]	Correlación de Pearson [A x B]
			CH	Contracción T/R	Densidad básica	Peso especifico			
B-cb	A	1	12.13	40.99	15.51	12.84	82.47	0.1	R^2= 0.16
		2	15.17	34.86	11.47	13.24	76.74	0.1	
	PI	3	11.23	30.41	17.28	18.02	79.94	0.2	
		4	11.04	33.96	16.68	17.68	83.36	0.2	
	SA	5	13.03	31.33	9.91	13.46	72.73	0.17	
		6	11.73	60.90	16.67	14.07	109.37	0.17	
B-ta	T	1	10.77	28.95	12.79	11.64	65.15	0.03	R^2= 0.11
		2	12.26	34.55	12.33	15.71	76.85	0.03	
	C	3	14.5	20.88	8.78	12.88	60.04	0.23	
		4	13.56	27.64	17.53	14.33	77.06	0.23	
	NR	5	13.84	21.32	13.98	12.06	66.2	0.15	
		6	10.91	33.36	12.35	15.97	78.59	0.15	
Promedio			12.51	33.26	13.77	14.33	77.38		

B-cb= Bosque de colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales, A=Aguaytia, PI=Puerto Inca, SA=San Alejandro, T=Tournavista, NR=Nueva Requena, CH=Contenido de humedad.

4.2.2 Relación de las propiedades físicas con las distancias geográficas

La Figura 8, muestra la correlación de Pearson entre la Db de las procedencias de cada unidad fisiográfica con la longitud geográfica por niveles de fuste. En todos los niveles las correlaciones fueron positivas, en el ápice la correlación fue muy alta (R^2=0.91), mientras que en el medio y en la base del fuste la correlaciones fueron moderadas e iguales (R^2=0.57).

La unidad fisiográfica más distante en el occidente es el B-cb, y el más distante en el oriente es el B-ta encontradas en las cuencas de los ríos Aguaytía y Pachitea (Anexo 5). El B-cb se encuentra en la zona más húmeda y de mayor fertilidad de suelo y el B-ta se encuentra en la zona más seca y con menor fertilidad en suelos (Cuadro 4). Muchos resultados muestran que la densidad de la madera suele ser mayor en bosques de terrazas, debido a que los árboles crecen lentamente y menor en los bosques de colina, debido a que los árboles crecen

rápidamente (Sotelo *et al*. 2006, 2007; Rochon *et al*. 2007; Weber y Sotelo 2008; Sotelo y Weber 2009). Estos resultados también se encontraron en la presente tesis, a pesar que algunos árboles del rodal semillero del INIA-Pucallpa proceden del B-cb y otros del B-ta, todos han crecido en una misma unidad fisiográfica (B-ta, donde el rodal se encuentra). Este hecho comprueba la hipótesis planteada de Zobel y Talbert (1988).

Según Zobel y Talbert (1988) y White *et al*. (2007), la densidad de la madera tiene un control genético más fuerte en comparación con las características fenotípicas de crecimiento (altura y diámetro de fuste), aún si es sacado de su lugar de origen para ser almacigado y/o plantado en otro lugar, además señalan que la densidad es menos influenciado por el medio ambiente en comparación con las características fenotípicas de crecimiento; así lo demostró también Weber y Sotelo (2005) para *C. spruceanum* donde las zonas de plantación tuvieron relativamente mayor efecto sobre las características de crecimiento (altura y diámetro de fuste) que sobre las características de la madera y Weber y Sotelo (2008) en *G. crinita* donde el coeficiente de variación (CV) para todas los árboles fue menor para la densidad que para las características de crecimiento; esto podría estar pasando en los árboles del rodal semillero del INIA-Pucallpa, que a pesar de estar plantados en un mismo lugar bajo las mismas condiciones edafoclimáticas mantienen la expresión genética de la densidad; ganada probablemente hace miles de años, la cual es transmitida de generación en generación. En este sentido se podría diferenciar las semillas de *G. crinita* que producirán madera de menor y mayor densidad según el uso que se quisiera obtener simplemente conociendo el tipo de unidad fisiográfica del cual procede, además de fortalecer las estrategias de conservación genética (White *et al*. 2007).

En la relación de la Db con la longitud geográfica, hubo un incremento de este valor desde el B-cb hasta el B-ta (de menor a mayor longitud geográfica) (Figura 8), debido al patrón genético descrito anteriormente; similar comportamiento fue determinado por Weber y Sotelo (2008) para *G. crinita* en la cuenca del Aguaytía, así también Sotelo *et al*. (2007), determinaron que el contenido calorífico de ramas y fustes de *C. spruceanum,* se incrementó de zonas de menor a mayor longitud geográfica. Sin embargo, no se observó este comportamiento en los árboles de *C. spruceanum* (Weber y Sotelo 2005), probablemente a que estas fueron tomadas de una región cerca al ecuador con condiciones ambientales relativamente homogéneas, lo cual dificulta encontrar diferencias entre uno y otro árbol (White *et al*. 2007). La longitud geográfica no es la única en generar cambios en la manera de crecer y/o reproducirse en una planta, Kuser y Ching (1980), demostraron que la latitud geográfica tuvo una correlación muy alta con la germinación (R^2 =0.98) y sobrevivencia (R^2 =0.83) en *Tsuga heterophylla.*

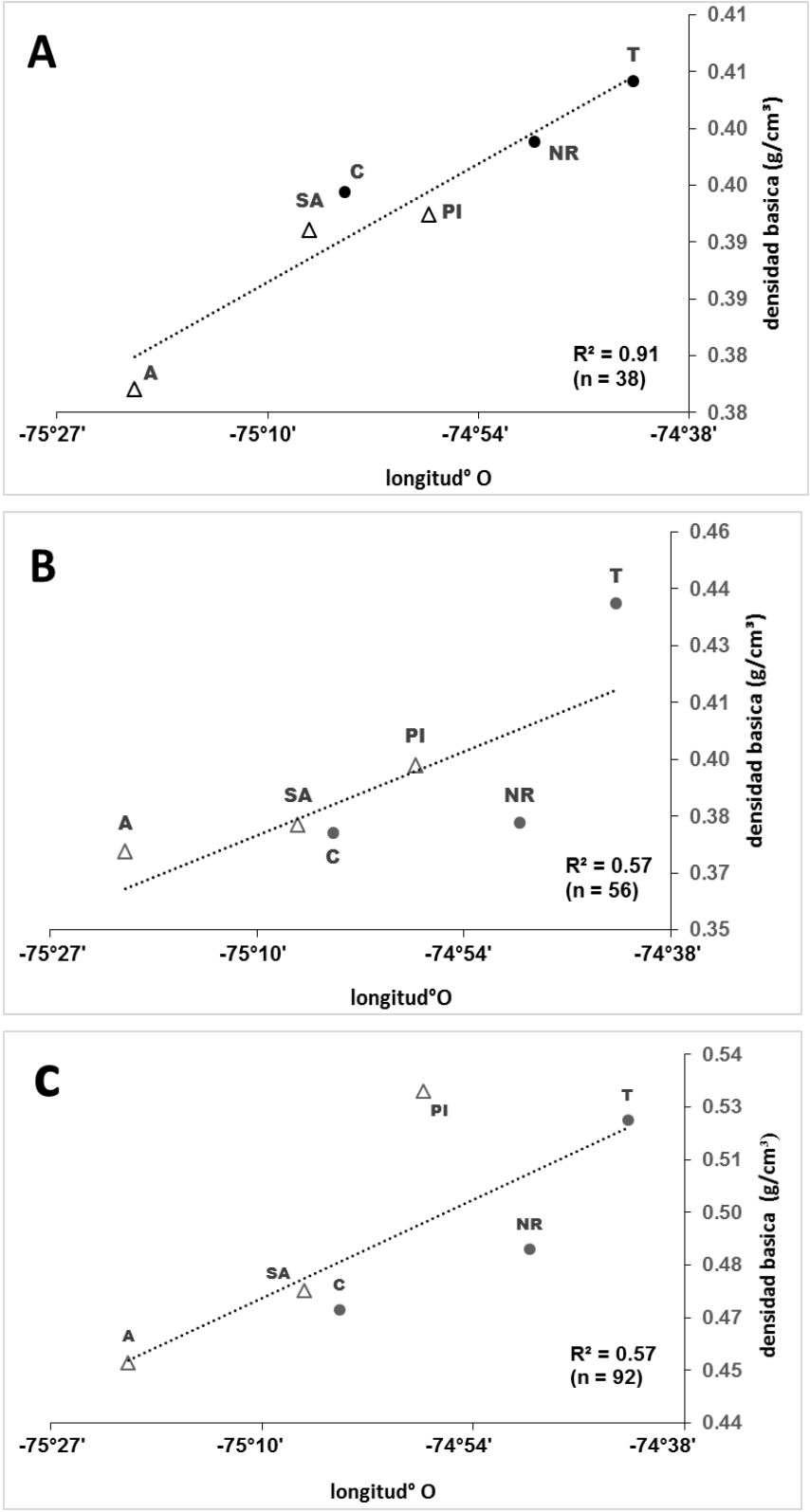


Figura 8. Correlación de Pearson entre la densidad básica apical (A), media (B) y basal (C) de *Guazuma crinita* con la longitud geográfica por procedencias según unidad fisiográfica (Bosque de colinas bajas = △, Bosque de terrazas aluviales = ●). A=Aguaytia, SA=San Alejandro, C=Curimana, PI=Puerto Inca, T=Tournavista.

Para las características de crecimiento en altura y diámetro del fuste, varios autores encontraron que existe un incremento desde los bosques de terrazas hacia los bosques de colina y que en los bosques de terraza existe mayor variación entre estas características en comparación a los bosques de colina tanto para *G. crinita* y *C. spruceanum* (Weber y Sotelo 2005, Rochon *et al*. 2007, Sotelo *et al* 2007, Weber y Sotelo 2008, Weber *et al*. 2011), además Weber *et al*. (2011) menciona que existe mayor variación dentro que entre unidades fisiográficas, sugiriendo que se puede ganar más seleccionando los mejores árboles dentro de cada unidad fisiográfica; tomando esta sugerencia y el hecho que en los bosques de terrazas los árboles más grandes tienen menor densidad en comparación a los pequeños (Weber y Sotelo 2008), se puede elegir del rodal semillero del INIA-Pucallpa o de plantaciones aledañas a los árboles más grandes con la finalidad de obtener mayor cantidad de madera, siempre y cuando el uso final de esta no demande grandes esfuerzos en flexión y contracción principalmente; caso contrario si se desea madera para mayores esfuerzos como en postes, vigas o mobiliario escolar se debe elegir a los árboles pequeños.

Con respecto a la correlación entre el CH y la longitud geográfica, las correlaciones son negativas y moderadas para todos los niveles con una media de R^2=048 (Figura 9); el hecho de encontrar correlaciones negativas demuestra el antagonismo entre esta propiedad con la Db descritas anteriormente. Lo interesante es nuevamente observar la relación de estas variables a pesar que todos los árboles de ambas unidades fisiográficas han estado creciendo en un mismo lugar bajo las mismas condiciones edafoclimáticas; estos hechos afirman que tanto la Db y el CH están bajo mayor control genético y son indiferentes a las variaciones medioambientales en comparación a otras características fenotípicas, coincidiendo con la hipótesis planteada por Zobel y Talbert (1988) y White *et al*. (2007). Esto es importante por las siguientes razones: i) se pueden obtener productos (tablillas, juguetes, muebles y maquetas) cuyo volumen sea más estable en el tiempo, siempre y cuando se trabajara con maderas cuyo CH sea igual y/o similar y por ende similar comportamiento higroscópico y de secado, para esto primero se debe iniciar un programa de selección de árboles por unidad fisiográfica en base a características deseables como en este caso del CH; además es importante porque ii) permitiría establecer plantaciones en diferentes regiones con diferentes condiciones edafoclimáticas y aún así obtener madera con igual o similar CH y Db con tan solo saber el tipo de unidad fisiográfica del cual proceden, independientemente del lugar donde crecen, esto representaría una gran ventaja al sector dedicado al uso y transformación de la madera al menos para esta especie.

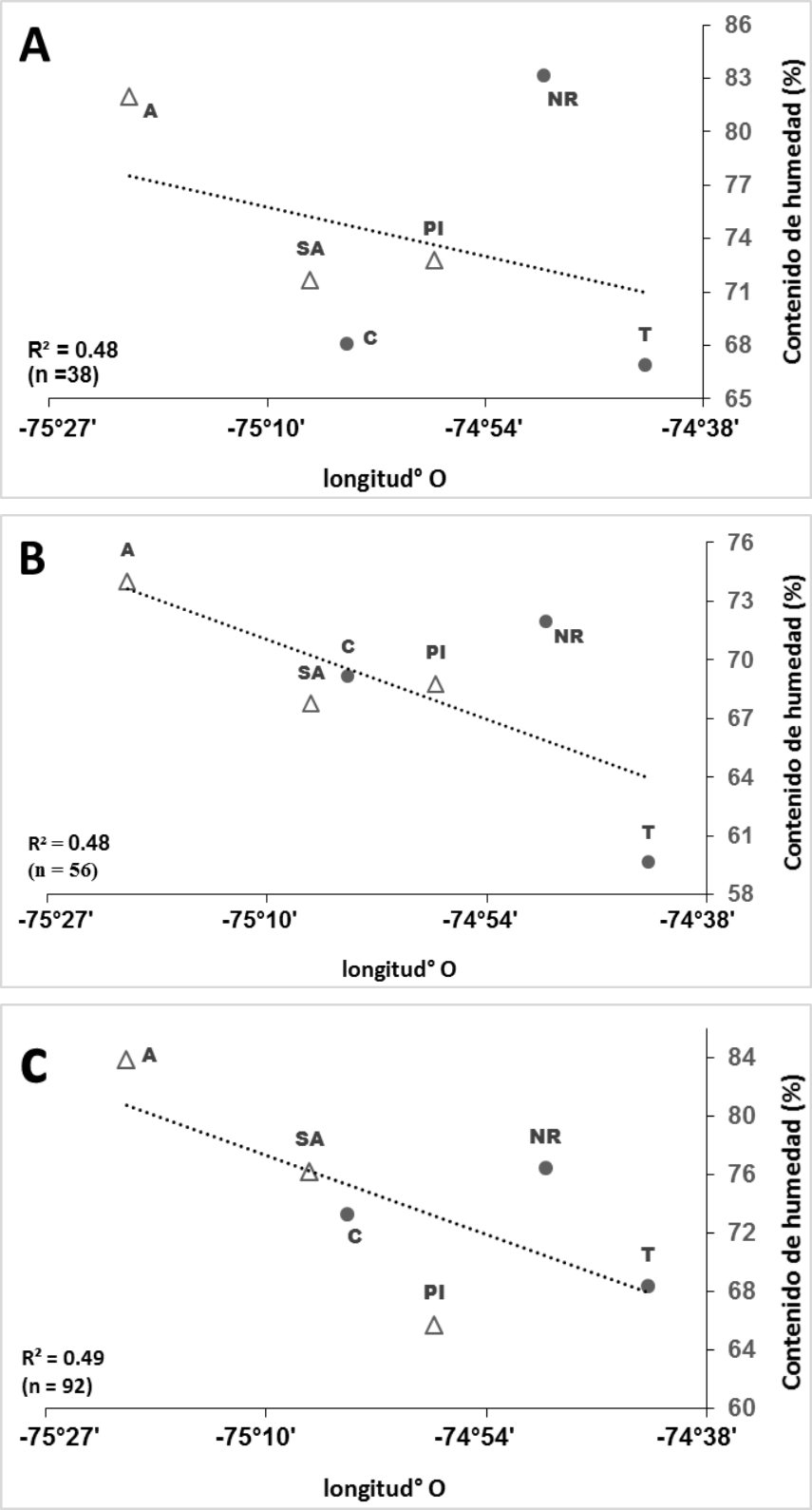


Figura 9. Correlación de Pearson entre el contenido de humedad apical (A), media (B) y basal (C) de *Guazuma crinita* con la longitud geográfica por procedencias según unidad fisiográfica (Bosque de colinas bajas= △, Bosque de terrazas aluviales= ●) A=Aguaytia, SA=San Alejandro, C=Curimana, PI=Puerto Inca, T=Tournavista.

V. CONCLUSIONES

- Los promedios de los valores de las propiedades físicas de Peso específico (Pe), Contenido de humedad (CH), Relación de la contracción tangencial/radial (T/R) y de la Densidad básica (Db) de la madera de *G. crinita* procedente de las unidades fisiográficas: Bosque de colinas bajas (B-cb) y Bosque de terrazas aluviales (B-ta) del rodal semillero INIA-Pucallpa fueron de 0.442, 72.19 %, 1.56 y de 0.423 g/cm^3 respectivamente. Los valores máximos y mínimos del Pe y del CH fueron de 0.356 a 0.572 y de 57.68 a 94.65 % respectivamente. La T/R decreció de la base del árbol hacia la copa de 1.83 a 1.31. En el B-cb se encontró menor Db (0.41) y mayor CH (73.59 %), contrariamente en el B-ta se encontró mayor Db (0.43) y menor CH (70.78 %). Todos estos valores están dentro del rango de maderas de densidad media y son similares a descripciones anteriores tanto por niveles de fuste como a longitud total.

- Solo existe una relación clara de las propiedades físicas y genéticas de la madera de *G. crinita*, cuando la densidad básica (Db) y el contenido de humedad (CH) es correlacionada con la longitud geográfica, a pesar que los árboles estuvieron plantados en un mismo lugar bajo las mismas condiciones edafoclimáticas, la Db y el CH siguieron el patrón genético heredado por sus antepasados.

VI. RECOMENDACIONES

- Iniciar un programa de conservación genética de los árboles del Bosque de colinas bajas (B-cb) y del Bosque de terrazas aluviales (B-ta), en base a la densidad básica y al contenido de humedad de la madera de *G. crinita*, es decir almacenar semillas de los árboles más distantes geográficamente.

- Realizar el estudio anatómico de la madera de *G. crinita* del rodal semillero del INIA-Pucallpa proveniente del Bosque de colinas bajas y del bosque de terrazas aluviales, a fin de conocer si estas propiedades también obedecen a un patrón genético.

- Realizar un estudio similar al de esta tesis pero en esta vez en un Bosque de colinas bajas (B-cb), a fin de corroborar y/o afianzar la relación de las propiedades físicas y genéticas de la madera de *G. crinita* bajo diferentes condiciones edafoclimaticas.

VII. BIBLIOGRAFIA

Ananías, R. 2006. Física de la madera, apuntes de asignatura. Departamento Ingeniería de maderas. Universidad Bio Bio de Chile. (en línea). Consultado 20 Nov. 2014. Disponible en https://books.google.de/books?id=P58rcPu5O90C&pg

Aróstegui, A. 1974. Estudio tecnológico de maderas del Perú - Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Convenio MINAG-UNALM. Lima, PE. 300 p.

Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE. PNUD/FAO/PER/81/002. 57 p.

Blume. 1980. La madera. Ed. Lauss. 2 ed. Barcelona, Esp. 273 p.

Campbell, K.; Sorensen, C. 1978. Effect of test environment on expression of clines and on delimitation of seed zones in Douglas-fir. Theor. Appl. Genet. 51: 233–246.

COTESU (COOPERACIÓN TÉCNICA SUIZA). 1991. silvicultura de la bolaina blanca. Proyecto de capacitación, extensión y divulgación forestal. Pucallpa, PE. 70 p.

Daniel, T.; Helms, J.; Baker, F. 1982. Principios de silvicultura. Mc Grau-Hill, Ed. Santiago, MX. 492 p.

Dawson, I.; Harwood, C.; Jamnadass, R.; Beniest, J. (eds.) 2012. Agroforestry tree domestication: a primer. The World Agroforestry Centre, Nairobi, KE. 148 p.

Diaz. 2008. Variación de las propiedades físicas de *Calycopphyllun espruceanun* (capirona) en una plantación de ocho años en la zona de Tingo Maria-Peru. Tesis Ing. For. Tingo maria, PE. UNAS. 75 p.

Dominguez, G. s.f. La bolaina blanca. Conozcamos nuestras especies nativas No 3, COTESU/JC/UCAYALI. Pucallpa, PE. 4 p.

Don Bosco, M. 1965. Tecnología de la madera. Ed. Linares. 5 ed. Barcelona, ES. 530 p.

Encarnación, F. 1983. Nomenclatura de las especies forestales comunes en el Perú. s.l. Ed. rev. Lima, PE. 147 p.

Flores, B. 2004. Guía para el reconocimiento de regeneración natural de especies forestales de la región Ucayali. INIA, Pucallpa, PE. 80 p.

Flores, B. 2000. Especies Forestales 4: la Bolaina blanca. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Ed. Rev. Pucallpa, PE. 65 p.

Grigoriev, A. 1985. Estudio de materiales para ebanistas y carpintería. Ed. MIR. 2 ed. Moscu, RU. 274 p.

IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana). 2009. Evaluación económica de parcelas de regeneración natural y plantaciones de bolaina blanca, *Guazuma crinita*, en el departamento de Ucayali. Avance Económico Nº11. Iquitos, PE. 54 p.

Kanashiro, M.; Harris, A.; Simon, J. 1997. RADP diversity in Brazil Nut (*Berthollecia excelsa* Hump. and Bonpl., Lecythidaceae). Silvae Genetica 46: 219–223.

Kuser, E.; Ching K. 1980. Provenance variation in phenology and cold hardiness of western hemlock seedlings. *Forest Science* 26: 463-470.

Lao, R. 1969. Catalogo preliminar de las especies forestales del Perú. Rev. Forestal del Perú 3(2): 1-64.

Leonardi, S.; Menozzi, P. 1995. Genetic variability of *Fagus sylvatica* L. in Italy: The role of postglacial recolonization. Heredity 75: 35–44.

Maruyama, E.; Ishii, K.; Saito, A. 1989. Micropropagation of cedro (*Cedrela odorata* L.) by shoot-tip culture. J. JP. For. Soc. 71: 329-33.

Maruyama, E.; Kinoshita, I.; Ishii, K.; Ohba, K.; Saito, A. 1997. Germplasm conservation of the tropical forest trees, *Cedrela odorata* L., *Guazuma crinita* Mart., and *Jacaranda mimosaefolia* D. Don., by shoot tip encapsulation in calcium-alginate and storage at 12-25 °C. Plant Cell Reports 16: 393-396.

Mora, J. 1983. Propiedades físico mecánicas de la madera. Universidad de los Andes, facultad de ciencias forestales. Departamento de publicaciones. Mérida, CL. 50 p.

NTP 251. 008. 1980. Norma Técnica Peruana de tecnología de la madera: Selección y colección de muestras. INDECOPI. Lima, PE. p 15-19.

NTP 251. 010. 1980. Norma Técnica Peruana de tecnología de la madera: Pruebas para determinar el contenido de humedad. INDECOPI. Lima, PE. p 23-32.

NTP 251. 011. 1980. Norma Técnica Peruana de tecnología de la madera: Pruebas para determinar la densidad. INDECOPI. Lima, PE. p 33-37.

NTP 251. 012. 1980. Norma Técnica Peruana de tecnología de la madera: Pruebas para determinar la contracción. INDECOPI. Lima, PE. p 37-41.

PADT-REFORT/JUNAC (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el área de los Recursos Forestales Tropicales). 1989. Manual del grupo andino para el secado de maderas. Junta de acuerdo de Cartagena. Lima, PE. 134 p.

Palomino, Y.; Barra, C. 2003. Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. Ed. Manto. Ed. corr. Oxapampa, PE. 109 p.

Panshin, A.; De Seew, C. 1980. Texbook of wood technology, identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada. Mcgraw-Hill. 4 ed. New York, US. 722 p.

Paul, S.; Wachira, N.; Powell, W.; Waugh, R. 1997: Diversity and genetic differentiation among populations of Indian and Kenyan tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) revealed by AFLP markers. Theoretical and Applied Genetics 94: 255–263.

Putzel, L.; Cronkleton, P.; Larson, A.; Pinedo-Vasquez, M.; Salazar, O.; Sears, R. 2013. Producción y comercialización de bolaina (*Guazuma crinita*), una especie amazónica de

rápido crecimiento - Un llamado a la adopción de un marco de políticas que apoye los medios de vida. CIFOR. Boletin No 25. 6 p.

Reyes, I. 2015. Situación actual de la plantación de *Guazuma crinita* en el rodal del INIA-Pucallpa. Comunicación personal. Pucallpa, PE. Instituto Nacional de Innovación Agraria.

Reynel C.; Pennington R.; Pennington T.; Flores C.; Daza A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía Peruana: Manual de identificación ecológica y propagación de las especies. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, PE. 509 p.

Rochon, C. 2004. Croissance et densite´ du bois de sept provenances de *Guazuma crinita* (Mart.) dans le bassin de l'Amazonie pe´ruvienne. The`se de maıtrise. Departement des sciences du bois et de la foret, Universite´ Laval. Quebec, CA. 108 p.

Rochon, C.; Margolis, A.; Weber, C. 2007. Genetic variation in growth of *Guazuma crinita* (Mart.) trees at an early age in the Peruvian Amazon. Forest Ecology and Management 243: 291–298.

Russel, R.; Weber, C.; Booth, A.; Powell, W.; Sotelo, C.; Dawson, K. 1999. Genetic variation of *Calycophyllum spruceanum* in the Peruvian Amazon basin, revealed by AFLP analysis. Molecular Ecology 8: 199–204.

Shimizu, Y.; Spence, A.; Martins, G.; Araujo J. 2002. Genetic and phenotypic variations in early growth performances of Grevillea trees for use in agroforestry systems. International Forestry Review 4: 128–132.

Sotelo M.; Beaulieu J.; Hernández E.; Weber 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.

Sotelo, M.; Beaulieu, J.; Hernandez, E. 2007. Genetic variation in wood shrinkage, and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. Can J For Res 37:966–976.

Sotelo M.; Weber J. 2009. Genetic variation in wood density and correlations with tree growth in *Prosopis africana* from Burkina Faso and Niger. Ann. For. Sci. 66 (2009) 713.

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. Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES). Ucayali, PE. 25 p.

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. Programa de Investigación en Manejo Integral de Bosques y Servicios Ambientales (PROBOSQUES). Ucayali, PE. 15 p.

Taquire, A. 1987. Propiedades físicas a nivel radial, longitudinal y comportamiento al cepillado, moldurado, taladrado y lijado de *Guazuma crinita* (bolaina blanca). Tesis Ing. For. Huancayo, PE. Universidad Nacional del Centro del Perú. 108 p.

Taricuarima, C. 2004. Caracterización de las propiedades higroscópicas de la madera de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca). Tesis Ing. For. Pucallpa, PE. Universidad Nacional de Ucayali. 58 p.

Tauchen, J. 2011. Assessment of morphological and genetic diversity of *Calycophyllum spruceanum* (Benth) K. Schum (Rubiaceae) in the Peruvian Amazon. Tesis Ing. Agr. Prague, CZ. Czech University of Life Sciences Prague. 39 p.

Torre, A.; Lopez, C.; Yglesias, E.; Cornelius, P. 2008: Genetic (AFLP) diversity of nine *Cedrela odorata* populations in Madre de Dios, southern Peruvian Amazon. Forest Ecology and Management 255: 334 – 339.

Tuisima,C.; Čepková, H.; Lojka, B.; Weber, J.; Filomeno, S. 2016. Genetic diversity in *Guazuma crinita* from eleven provenances in the Peruvian Amazon revealed by ISSR markers. Bosque 37(1): 63-70.

Tuset, R. 1989. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Hemisferio Sur. Ed. CDM. Montevideo, UY. 689 p.

Weber, C. Sotelo, C. Cornelius, J. Ugarte, J. 2011. Genetic variation in tree growth, stem form and mortality of *Guazuma crinita* in slower and faster-growing plantations in the Peruvian Amazon. Silvae Genetica 60: 2.

Weber, C.; Sotelo, C. 2008. Variation in tree growth and wood density of *Guazuma crinita* Mart. in the Peruvian Amazon. New Forests 36: 29–52.

Weber, J.; Sotelo, C.; Vidaurre, H. 1999. Domesticación participativa de árboles agroforestales para el desarrollo de la cuenca amazónica peruana. ICRAF- programa para la domesticación de árboles Agroforestales en Perú. Lima, PE. p 2-12.

Weber, J; Sotelo, M. 2005. Variation and correlations among stem growth and wood traits of *Calycophyllum spruceanum* Benth. from the Peruvian Amazon. Silvae Genet. 54: 31-41.

White, L.; Adams, T.; Neale, B. 2007. Forest genetics. Cambrige, UK: CABI publishing. p 53-76.

Wrigth, J.; Osorio , L. 1992. Variación de la densidad de la madera entre procedencias de *Pinus maximoi* a los 14.5 años de edad en Colombia. Investigación Forestal. Carton de Colombia. Informe de investigación No 147. Cali, CO. 5 p.

Zobel, B.; Talbert J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. Ed. rev. MX. 233 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Altura total de los fustes de *G. crinita* por procedencia y unidad fisiográfica del rodal semillero INIA-Pucallpa.

Unidad fisiográfica	Procedencia	No árbol	Altura (m)
B-cb	Aguaytia	1	10.4
		2	13.8
	Puerto inca	3	13.3
		4	12.4
	San Alejandro	5	12.1
		6	13.7
		prom	12.6
B-ta	Curimaná	1	10.6
		2	12.4
	Tournavista	3	13.2
		4	13.6
	Nueva Requena	5	9.8
		6	14.5
		prom	12.3
Promedio total			12.5

Anexo 2. Fluctuaciones de la densidad de la madera de *G. crinita* durante las evaluaciones

Unidad fisiográfica	No de evaluaciones para densidad (g/cm3)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Estado verde	Estado seco al aire							Estado seco al horno
B-cb	0.72	0.61	0.54	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.45
B-ta	0.73	0.62	0.56	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.47
promedio	0.73	0.62	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.46

B-cb=Bosque de colinas bajas, B-ta=Bosque de terrazas aluviales

Anexo 3. Fluctuaciones del volumen de la madera de *G. crinita* durante las evaluaciones

Unidad fisiográfica	No de evaluaciones para volumen (cm^3)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Estado verde	Estado seco al aire							Estado seco al horno
B-cb	41.15	40.70	40.51	39.69	39.52	39.29	39.29	39.38	37.76
B-ta	40.57	40.15	39.86	39.27	38.88	38.72	38.79	38.88	37.20
promedio	40.86	40.43	40.18	39.48	39.20	39.00	39.04	39.13	37.48

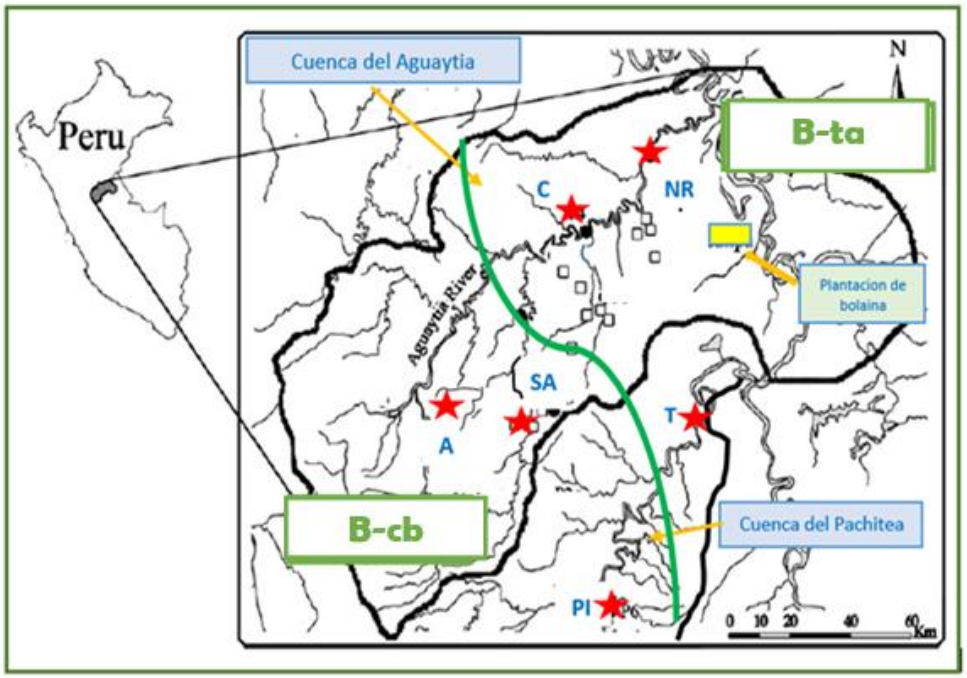
B-cb=Bosque de colinas bajas, B-ta=Bosque de terrazas aluviales

Anexo 4. Estadísticos descriptivos para peso específico, contenido de humedad, relación T/R y densidad básica de *G. crinita* por unidad fisiográfica.

	Base				Medio				Ápice				
Peso específico (Pe)	prom.	min	max	CV	prom.	min	max	CV	prom.	min	max	CV	**Promedio**
B-cb	0.512	0.455	0.563	6.627	0.396	0.329	0.462	11.383	0.402	0.360	0.464	9.274	0.437
B-ta	0.519	0.465	0.572	6.437	0.412	0.356	0.492	10.186	0.412	0.359	0.475	10.326	0.448
Prom.	0.516	0.460	0.568	6.532	0.404	0.343	0.477	10.785	0.407	0.359	0.469	9.800	0.442
Contenido de humedad (%)													
B-cb	75.191	59.138	94.655	15.235	70.161	57.889	80.501	8.914	75.426	67.886	85.424	8.978	73.593
B-ta	72.680	58.571	92.069	14.109	66.937	57.682	78.111	10.296	72.722	66.794	77.892	4.894	70.779
promedio	73.935	58.855	93.362	14.672	68.549	57.786	79.306	9.605	74.074	67.340	81.658	6.936	72.186
Relación T/R													
B-cb	1.713	0.589	2.631	33.757	1.597	1.063	2.398	26.917	1.199	0.873	1.602	24.400	1.503
B-ta	1.950	1.335	2.548	18.806	1.468	0.869	2.057	26.934	1.433	0.784	2.110	31.474	1.617
Prom.	1.831	0.962	2.590	26.281	1.533	0.966	2.228	26.925	1.316	0.829	1.856	27.937	1.560
Densidad básica (ƒb)													
B-cb	0.485	0.432	0.535	6.802	0.381	0.317	0.452	12.037	0.387	0.353	0.431	7.327	0.417
B-ta	0.491	0.436	0.541	6.936	0.397	0.351	0.460	9.128	0.399	0.347	0.456	9.872	0.429
Prom.	0.488	0.434	0.538	6.869	0.389	0.334	0.456	10.583	0.393	0.350	0.443	8.600	0.423

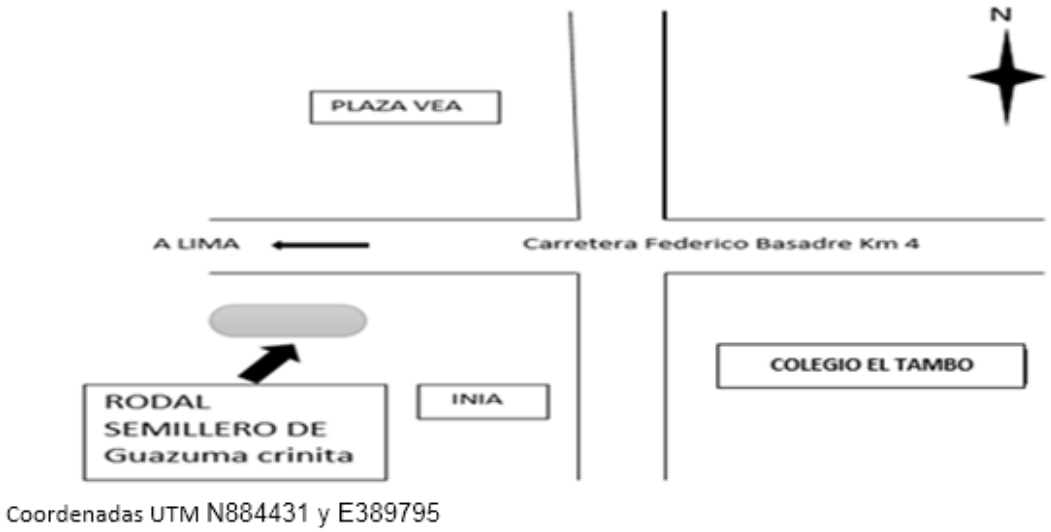
B-cb= Bosque de colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales, Prom= promedio, Min= mínimo, Max= máximo, CV=coeficiente de variabilidad.

Anexo 5. Ubicación de las unidades fisiográficas en las cuencas del Aguaytia y Pachitea



B-cb= Bosque de colinas bajas, B-ta= Bosque de terrazas aluviales

Anexo 6. Croquis de ubicación del rodal semillero de *G. crinita* en el INIA-Pucallpa



Anexo 7. Rodal semillero de *G. crinita* del INIA-Pucallpa

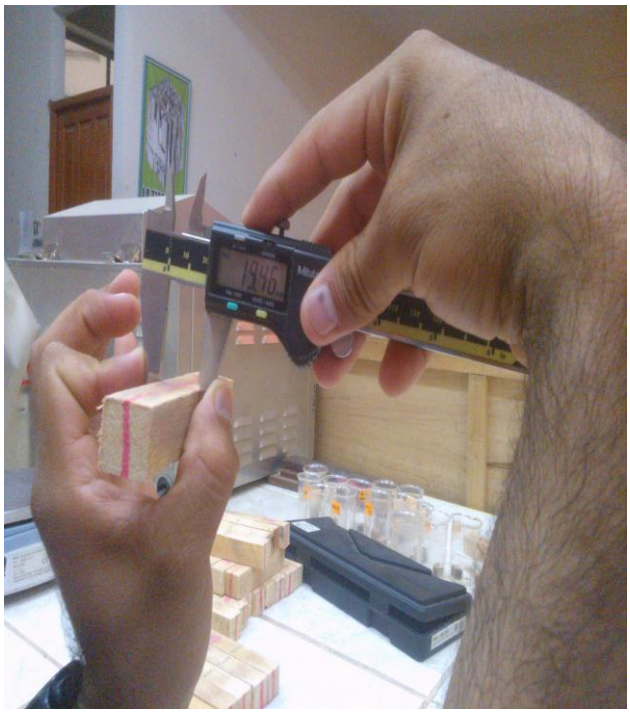
Anexo 8. Rodajas recién cortadas del fuste, pintadas, codificadas y amarradas

Anexo 9. Rodajas por nivel de fuste listas para ser cortadas y obtener las probetas

Anexo 10. Protección con bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad

Anexo 11. Probetas entrecruzadas, secándose en condición ambiente

Anexo 12. Medición de una probeta



Anexo 13. Pesado de una probeta

Anexo 14. Secado de las probetas en horno a 103° C