



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

ESCUELA DE POSGRADO

Dinámica del crecimiento de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* en bosques de la Región Autónoma del Caribe Norte de Nicaragua; evaluada a través del enfoque dendroecológico: una contribución al manejo forestal sostenible

Por

Darwin Rolando Paguada Pérez

Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar al grado de

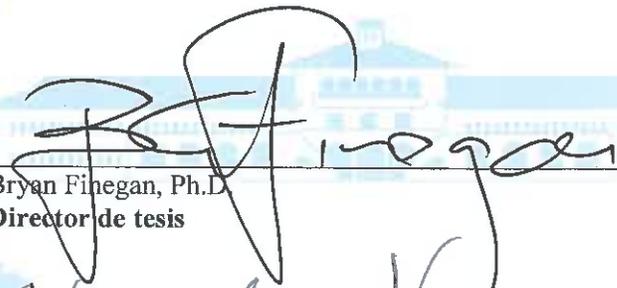
***Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad**

Turrialba, Costa Rica, 2015

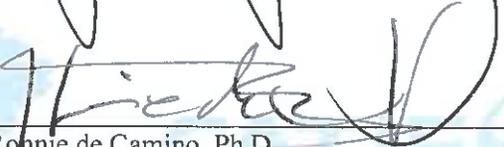
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:



Bryan Finegan, Ph.D.
Director de tesis



Ronnie de Camino, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

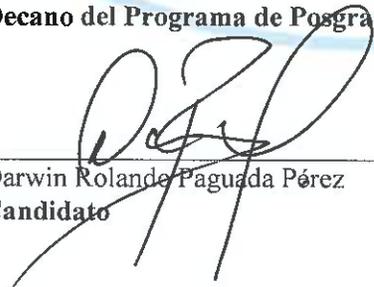
Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano del Programa de Posgrado



Darwin Rolando Paguada Pérez
Candidato

DEDICATORIA

A Aaron Paguada mi motor durante los últimos 13 años.

AGRADECIMIENTO

Al Prof. Finegan por su acompañamiento y paciencia, mientras esperaba ver esa transformación y crecimiento en uno.

Al Prof. Casanoves por escucharme, apoyarme y animarme.

Al Prof. De Camino por darme el ejemplo de aprender a escuchar sin juzgar.

Al Prof. Delgado por esa colaboración y permitirme siempre argumentar mis ideas.

A CATIE por su inmejorable apoyo y darme la beca académica, así como a BIOVERSITY a la ITTO por creer en mi propuesta de proyecto de investigación.

A mis padres, por ese apoyo que nunca me ha faltado. A mi familia por apoyarme.

A mi esposa por creer en mí.

A todos mis amigos y compañeros.

Y a Dios porque su misericordia nunca me ha faltado.

“Agradezco al proyecto Forestry to enhance livelihoods and sustain forests in Mesoamerica: How institutional arrangements and value chains affect benefits and resources, coordinado por Bioversity y CATIE y financiado por la Agencia Austriaca para el Desarrollo ADA, el apoyo financiero que se me brindó para la realización de esta tesis.”

BIOGRAFÍA

Darwin Rolando Paguada Pérez nació en Tegucigalpa, Francisco Morazán un 22 de enero de 1979; sus padres fueron Berta Rosaura Martínez Pérez y José Rolando Paguada Chirinos.

Creció en el pueblo de Florida de Opatoro La Paz, Honduras. Estudió primaria en la escuela Lempira, la secundaria en el Instituto Dr. Adán Bonilla Contreras, para luego trasladarse a Tegucigalpa y cursar su bachillerato en el Instituto Alfonzo Guillén Zelaya y finalizar su pregrado como Licenciado en Biología en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Como profesional, laboró para la Procuraduría del Ambiente y dio inicio a su carrera docente en el instituto Dr. Adán Bonilla Contreras, pasando por el Instituto 21 de octubre hasta llegar a la Universidad Nacional de Agricultura, previo a dar inicio a su maestría.

Es el mayor de 5 hermanos y padre de Aarón Javier Paguada Zambrano, quien nació el 25 de enero de 2014.

Se encuentra casado con María Teresa Palominos desde el 12 de febrero de 2015.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
BIOGRAFÍA	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
LISTA DE ACRÓNIMOS	XIII
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. Objetivos.....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos	4
2.3. Preguntas de investigación	4
3. MARCO REFERENCIAL.....	5
3.1. Dendroecología.....	5
3.2. Crecimiento diamétrico	5
3.3. Factores que limitan el crecimiento	6
3.4. Bosques huracanados	7
3.5. Análisis dendrocronológico.....	7
3.5.1. Principio de uniformidad.....	8
3.5.2. Principio de factores limitantes	8
3.5.3. Principio de amplitud ecológica	8
3.5.4. Principio de selección del sitio	9
3.5.5. Principio de sensibilidad.....	9
3.5.6. Principio de sincronización.....	9
3.5.7. Principio de replicación	10
3.5.8. Principio de estandarización	10

3.5.9.	Principio de relaciones medio ambientales	10
3.5.10.	Principio de calibración y verificación	11
3.6.	Consideraciones para estudios de dendroecología.....	11
3.7.	Las especies de interés en la investigación.....	11
3.8.	<i>Swietenia macrophylla</i>	11
3.9.	<i>Carapa guianensis</i>	13
4.	RESULTADOS PRINCIPALES	14
4.1.	Anualidad en los anillos de crecimiento	14
4.2.	Periodos de Aprovechamiento	15
4.3.	Relaciones del crecimiento de los árboles ante el suelo	15
4.4.	Relaciones del crecimiento de los árboles ante el clima	15
5.	CONCLUSIONES.....	15
CAPÍTULO II.....		23
Artículo.....		23
CAPÍTULO III		47
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.....		47
6.	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	47
6.1.	Ubicación del área de estudio	47
6.2.	Características biofísicas del área de estudio	47
6.3.	Ubicación de los sitios de estudio.....	49
6.4.	Aspectos socioeconómicos del área de estudio	51
7.	Metodología	51
7.1.	Diseño del muestreo	51
7.2.	Selección de la especies.....	52
7.3.	Muestreo en campo.....	52
7.3.1.	Selección de los árboles	52
7.3.2.	Toma de muestras y mediciones en el árbol	53
7.4.	Otras variables consideradas.....	57
8.	Laboratorio	59
8.1.	Preparación de núcleos.....	59
8.2.	Medición de los núcleos	59

8.3.	Sincronización y anualidad	60
8.4.	Índice de Ancho de Anillos “Estandarización”	61
8.5.	Desarrollo de modelos de crecimiento.....	61
9.	Análisis de datos	63
10.	RESULTADOS	63
10.1.	Características microscópicas de los anillos de crecimiento	63
10.2.	Anualidad y sincronización de los anillos	64
10.3.	Modelos de crecimiento	67
10.4.	Estimación de turnos de corta	70
10.5.	Análisis de correlación entre el crecimiento de los árboles y el clima	72
10.6.	<i>Swietenia macrophylla</i>	73
10.7.	<i>Carapa guianensis</i>	75
Anexos	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Región de Huracanes en el planeta (Lugo y Inbar 2002).....	7
Figura 2. Mapa de modelación climática y elevación de las RACN.....	48
Figura 3. Mapa del Área de Manejo Forestal Comunal de Layasiksa.....	49
Figura 4. Mapa del Área de Manejo Forestal Comunal del bloque SIPBAA	50
Figura 5. Esquema de diseño de muestreo.	52
Figura 6. Posición sociológica y clases de iluminación de copa. (Dawkins 1958)	88
Figura 7. Precipitación y temperatura de 56 años, estación meteorológica en Puerto Cabezas, Nicaragua. Fuente: (INETER 2015).....	57
Figura 8. Imágenes macroscópicas de núcleos escaneados (14 mp de resolución) en muestras transversales medidas de (A) <i>Swietenia macrophylla</i> , (B) <i>Carapa guianensis</i> , exhiben la disposición de la medición del anillo de crecimiento, entre las paredes del parénquima terminales siguiendo la dirección de las fibras.	64
Figura 9. Imagen transversal de la muestra Lay33-A de <i>Carapa guianensis</i> (14 mp de resolución), en la que se señala con flechas amarillas el parénquima terminal que define cada anillo. Las bandas con coloración más oscura representan la madera tardía y las claras la madera temprana; esta disposición de la madera temprana y tardía en un mismo anillo insta la idea de dos y tres años en un anillo de crecimiento.	65
Figura 10. Patrón de crecimiento de los núcleos medidos, sincronizados y correlacionados de <i>Swietenia macrophylla</i>	66
Figura 11. Patrón de crecimiento de los núcleos medidos, sincronizados y correlacionados de <i>Carapa guianensis</i>	67
Figura 12. Crecimiento en función de la edad de 13 árboles de <i>Swietenia macrophylla</i> A y 12 árboles de <i>Carapa guianensis</i> B.....	68
Figura 13. Modelación sigmoide A Gompertz y B Logístico de la especie de <i>Swietenia macrophylla</i> , C Gompertz y D Logístico de <i>Carapa guianensis</i> ; en color azul la modelación de los DAP, en rojo los intervalos de confianza como límite superior o inferior del modelo y en color gris los árboles.	69
Figura 14. Modelos de crecimiento de <i>Swietenia macrophylla</i> A y <i>Carapa guianensis</i> B con estimación y modelación del ICA e IMA y el DAP modelado.	70
Figura 15. Periodos de aprovechamiento, A <i>Swietenia macrophylla</i> y B <i>Carapa guianensis</i> ; donde A es el punto donde el IMA alcanza su máximo valor y B el punto donde el ICA alcanza su máximo valor; propuesto por Schöngart (2008).	71
Figura 16. Turnos biológicos, A <i>Swietenia macrophylla</i> y B <i>Carapa guianensis</i> ; donde A es el turno biológico que propone Imaña y Encinas (2008), B el turno al DMC establecido por la NTON 18-001-12 (2013) y C el propuesto por Schöngart (2008).	72
Figura 17. Comparaciones entre Índice de Ancho de Anillo IAA de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Carapa guianensis</i> y las variables climáticas, Precipitación Anual PA y Temperatura Media Anual TMA. A Relación Precipitación Anual e Índice de Ancho de Anillo en <i>Swietenia macrophylla</i> ; B Relación Temperatura Media Anual e Índice de Ancho de Anillo de	

	<i>Swietenia macrophylla</i> ; C Relación Precipitación Anual e Índice de Ancho de Anillo en <i>Carapa guianensis</i> ; D Relación Temperatura Media Anual e Índice de Ancho de Anillo en <i>Carapa guianensis</i>	73
Figura 18.	Análisis de correlación de Pearson entre el índice de ancho de anillo de <i>Swietenia macrophylla</i> y las variables climáticas (precipitación P , temperatura ° T), mostrando correlaciones no significativas.....	74
Figura 19.	Análisis de correlación entre las variables climáticas (precipitación P , temperatura ° T) y el IAA de <i>Swietenia macrophylla</i> del año subsecuente.....	75
Figura 20.	Análisis de correlación de Pearson entre el índice de ancho de anillo de <i>Carapa guianensis</i> y las variables climáticas (precipitación P , temperatura ° T), con correlaciones significativas negativa con la temperatura del mes de noviembre.	76
Figura 21.	Análisis de correlación entre las variables climáticas (precipitación P , temperatura ° T) y el IAA de <i>Carapa guianensis</i> del año siguiente.	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Coordenadas Área de Manejo Forestal Comunal de Layasiksa	49
Cuadro 2. Coordenadas Área de Manejo Forestal Comunal del bloque SIPBAA	50
Cuadro 3. Colecta de árboles muestreo	53
Cuadro 4. Agrupación por sitio de colecta en las muestras de suelo.....	58
Cuadro 5. Resultados del análisis químico del suelo.....	58
Cuadro 6. Resultados del análisis químico de micronutrientes del suelo.....	58
Cuadro 7. Resultados del análisis físico del suelo.....	59
Cuadro 8. Funciones y ecuación de modelos no lineales mixtos	62
Cuadro 9. Resumen de muestras colectadas.	64
Cuadro 10. De 60 árboles analizados solamente se sincronizaron 25 árboles.	65
Cuadro 11. Clasificación precipitación y temperatura para correlacionarlo con IAA.	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de clasificación de suelos en la RACN.....	78
Anexo 2. Dirección de las trochas del AMFC Layasiksa.....	79
Anexo 3. Clasificación por estratos del AMFC Layasiksa.....	79
Anexo 4. Dirección de las trochas del AMFC Sagnilaya.....	80
Anexo 5. Clasificación por estratos del AMFC Sagnilaya.....	80
Anexo 6. Tabla de temperaturas Estación Puerto Cabezas.....	81
Anexo 7. Tabla de Precipitación Estación Puerto Cabezas.....	82
Anexo 8. Tabla de datos Cedro macho Layasiksa.....	83
Anexo 9. Tabla de datos Caoba Layasiksa.....	84
Anexo 10. Tabla de datos Cedro macho Butku.....	85
Anexo 11. Análisis COFECHA; correlación entre núcleos de <i>Swietenia macrophylla</i>	86
Anexo 12. Análisis COFECHA; correlación entre núcleos de <i>Carapa guianensis</i>	87
Anexo 13. Coeficientes de correlacion entre el IAA de <i>Swietenia macrophylla</i> y la precipitación.	88
Anexo 14. Coeficientes de correlacion entre el IAA de <i>Swietenia macrophylla</i> y la temperatura.....	88
Anexo 15. Coeficientes de correlacion entre el IAA de <i>Carapa guianensis</i> y precipitación.....	89
Anexo 16. Coeficientes de correlacion entre el IAA de <i>Carapa guianensis</i> y temperatura.....	89
Anexo 17. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de precipitación y el IAA de <i>Swietenia macrophylla</i> que se forma un año siguiente.	90
Anexo 18. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de temperatura y el IAA de <i>Swietenia macrophylla</i> que se forma un año siguiente.	90
Anexo 19. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de precipitación y el IAA de <i>Carapa guianensis</i> que se forma un año siguiente.....	91
Anexo 20. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de temperatura y el IAA de <i>Carapa guianensis</i> que se forma un año siguiente.....	91

LISTA DE ACRÓNIMOS

AMFC:	Área de Manejo Forestal Comunal
CATIE:	Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza
DAP:	Diámetro a la altura del pecho
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
Gt:	Tendencia estimada del crecimiento
IAA	Índice de ancho de anillo
ICA	Incremento corriente anual
IMA	Incremento medio anual
INAFOR:	Instituto Nacional Forestal de Nicaragua
MARENA:	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua
MAGFOR	Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua
INETER	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
PMC:	Plan de manejo comunitario
RACN:	Región Autónoma del Caribe Norte
Rt:	Serie de ancho de anillo
SIPBAA:	Bloque que conforman las comunidades Sangilaya, Il Tara, Panua, Butku, Auhya Tara y Auhya Pihni.
MO	Materia orgánica
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala

RESUMEN

Los bosques tropicales de la Región Autónoma del Caribe Norte en Nicaragua (RACN) son una importante fuente de sustento económica y de bienestar para pueblos indígenas de zona. Por lo tanto, es esencial para la regular la gestión de estos bosques. Esta investigación tiene como objetivo contribuir a la silvicultura comunitaria en dos sitios, Layasiksa y Butku, a través de un enfoque dendroecológico que genera conocimiento para describir el desarrollo de dos especies forestales *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*, en relación con los factores climáticos. Para ello, se examinaron 18 árboles de *Swietenia macrophylla* y 42 árboles de *Carapa guianensis*; obteniendo 27 y 24 núcleos sincronizados y correlacionados respectivamente. Estas cronologías presentaron un índice de ancho de anillo que se correlacionó posteriormente con la precipitación y temperatura. Los modelos de crecimiento permiten la exploración de los tiempos de rotación y ciclos de corta, con el período de cosecha en *Swietenia macrophylla* entre 65 y 85 años, tiempo durante el cual el árbol alcanza aproximadamente entre 40 a 65 cm DAP. El período correspondiente para *Carapa guianensis* es de 70 a 122 años cuando el árbol alcanzaría aproximadamente 40 a 70 cm DAP. Los modelos desarrollados demuestran discrepancias entre los turnos de rotación calculados con base en criterios biológicos y los turnos que corresponden a los diámetros mínimos de corta establecidos por normas técnicas. Es notorio que el diámetro mínimo de corta DMC de 40 cm determinado por las normas técnicas nicaragüenses para *Carapa guianensis*, es inferior a los diámetros considerados aprovechables por criterios biológicos. Por otra parte, el DMC de 50 cm para *Swietenia macrophylla* está dentro del rango considerado biológicamente deseable. La variación inter-anual de la precipitación y la temperatura en la zona de estudio no estuvo correlacionado con el crecimiento diamétrico de las dos especies, probablemente debido a la corta duración del periodo anual seco.

ABSTRACT

Tropical forests of Nicaragua's northern Caribbean Autonomous Region (RACN), are an important source of economic sustenance and wellbeing for indigenous peoples of the region. It is therefore essential to regulate the management of these forests. This research aims to contribute to community forestry at two sites, Butku and Layasiksa, through a dendroecological approach that generates knowledge to describe the development of two forest species *Swietenia macrophylla* and *Carapa guianensis*, in relation to climatic factors. The research established the dynamics of growth of both species, beginning with the validation of the the annual nature of their growth rings. For this, 18 trees of *Swietenia macrophylla* and 42 of *Carapa guianensis* were examined. 27 and 24 synchronized and correlated series were obtained for *Swietenia* and *Carapa*, respectively. These provided chronologies and a ring width index that was subsequently correlated with precipitation and temperature. The model established a mean annual increment of stem diameter in *Swietenia macrophylla* of 5.8 mm and of 4.8 mm in *Carapa guianensis*. The growth models permitted exploration of rotation times and felling cycles, with the harvest period in *Swietenia macrophylla* between 65 and 85 years, during which time the tree reaches stem diameters between 40 and 65 cm dbh. The corresponding period for *Carapa guianensis* is 70-122 years at which the tree would reach approximately 40 to 70 cm dbh. The developed models demonstrate discrepancies between the rotations calculated based on biological criteria and those based on the minimum cutting diameters established by technical standards. It is noteworthy that the minimum cutting diameter MCD of 40 cm fixed by Nicaraguan technical standards for *Carapa guianensis*, is less than the diameters considered desirable by biological criteria. On the other hand, the MCD of 50 cm for *Swietenia macrophylla* is within the range considered biologically desirable. The inter-annual variation in precipitation and temperature in the study area was not correlated with the diameter growth of the two species, probably due to the short duration of the annual dry period.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el aprovechamiento forestal en bosques naturales se ha convertido en una vía de desarrollo social por el que optan las comunidades rurales, haciendo que la sostenibilidad de los bosques sea un reto para el Gobierno y la sociedad que demanda de servicios ambientales de calidad. Con esta idea países, como Nicaragua, regulan el aprovechamiento forestal; en 2004, se publicó la Norma Técnica para el Manejo del Recurso Forestal (MAGFOR 2006), la cual establece el cómo, dónde y cuánto del aprovechamiento forestal. Esta normativa determina el aprovechamiento forestal con ciclos de corta en función del diámetro mínimo de corta y de un inventario forestal, donde no se precisa la forma en que se establece la dinámica de crecimiento de la especie que se desea explotar.

En contraste, países como Guatemala instauran criterios y metodología de aprovechamiento forestal basados en estudios de parcelas permanentes, con los cuales se fija la dinámica de crecimiento de la especie y con ello los ciclos de aprovechamiento forestal (CANAP 2012); últimamente ciencias como la dendroecología permiten dar soporte científico al aprovechamiento forestal, ya que establece el crecimiento en función de variaciones que están afectando el desarrollo del árbol o el rodal (Amoroso y Suárez 2015).

Según Rozendaal y Zuidema (2011), durante la última década, el campo de dendroecología tropical se ha desarrollado rápidamente; gracias a la obtención de conocimientos ecológicos a partir de estudios en este campo, e importantes avances metodológicos. Por ejemplo, la combinación de los anillos de crecimiento con irradiación de isótopos estables en el tejido de madera ofrece nuevas maneras de reconstruir las condiciones históricas del crecimiento de los árboles y entender sus respuestas fisiológicas a los contextos cambiantes. Además, los datos de anillos de crecimiento en árboles tropicales se han utilizado para construir y validar los modelos de crecimiento de los árboles y los modelos de población (Rozendaal y Zuidema 2011).

Schweingruber *et al.* (1990) señalan que la dendroecología se apoya en la dendrocronología. La dendroecología es la ciencia que describe los procesos de interacción que ocurren durante el desarrollo del árbol y las condiciones ambientales del entorno, de esta forma se puede evaluar y estudiar el crecimiento de la comunidad vegetal en función de los factores endógenos y exógenos que influyen (Cook y Kairiukstis 1990).

Así mismo, la dendroecología permite reconstrucciones del clima, ya que revela fuentes en la variación climática, describiendo las relaciones clima-crecimiento (Rozendaal y Zuidema 2011); también deja ver los efectos en el crecimiento durante períodos de perturbación (Tapia y Dussart 2003). El enfoque dendrocronológico era ampliamente usado a finales del siglo pasado, pues posibilita establecer el crecimiento del árbol cuando queda registrado en sus anillos, de esta forma se puede desarrollar correlaciones entre factores ambientales que acompañaron el crecimiento (Hillam 1997). En la última década, el enfoque dendrocronológico está supeditado a la medición

de anillos y se desarrolla la dendroecología para asociar las mediciones con el ambiente (Amoroso y Suárez 2015).

Algo que se advertía de la medición de anillos en árboles tropicales en décadas pasadas, era que su aplicación como herramienta para varias especies en bosques tropicales no era apropiada; ya que para condiciones de clima con mucha variabilidad tenía poca precisión (Lieberman *et al.* 1985). Por esta razón, existe la necesidad de identificar las especies con la capacidad y sensibilidad de registrar en sus anillos la estación seca y lluviosa sin variación; ya que estos anillos servirán para determinar la tasa de crecimiento (Rozendaal y Zuidema 2011) que posteriormente se correlaciona con las variables ambientales y climáticas.

Probablemente, exista todavía la creencia de que los árboles tropicales no forman anillos anuales de crecimiento. Sin embargo, en Venezuela, Dezzeo *et al.* (2003) examinaron la madera de árboles en zonas húmedas, encontrando que la distancia entre los anillos de crecimiento es muy estrecha y se estableció que este patrón corresponde a árboles con características donde las áreas son de inundación. Anteriormente, Worbes (1999) llevó a cabo apreciaciones en árboles tropicales de la Reserva Forestal de Caparo, identificó los anillos formados en respuesta al clima específico para cada temporada. En Honduras, la contribución de Devall *et al.* (1995) describió la formación de anillos anuales de algunas especies y las condiciones ecológicas en áreas puntuales; a su vez, se estableció que los patrones de crecimiento cambian de acuerdo con el lugar (Roig y Zevallos Pollito 2009).

Una necesidad que tienen los bosques tropicales en Latinoamérica y que constituye un reto son las publicaciones sobre la anatomía, calendario de los anillos, relaciones con la fenología, el clima y que además estas sean de la familia Meliáceas, donde se describa la anatomía de los anillos de crecimiento y su ecología (Roig y Zevallos Pollito 2009).

Las comunidades indígenas de la Moskitia Nicaragüense requieren de información sobre la dinámica de crecimiento de especies de interés comercial que les permita tomar acciones a corto y mediano plazo para mejorar sus áreas bajo manejo forestal. Con el propósito de contribuir con estudios que apoyen esta finalidad, se concibe la Región Autónoma del Caribe Norte en Nicaragua como una zona con gran potencial de investigación de sus especies forestales, donde se asocia la demanda de comunidades rurales que buscan herramientas para el aprovechamiento forestal sostenible.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Contribuir al manejo forestal sostenible de poblaciones de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* en bosques de la Región Autónoma del Caribe Norte RACN en Nicaragua; usando la dendroecología para establecer los patrones de crecimiento y su relación con variables climáticas.

2.2. Objetivos específicos

Determinar la anualidad de los anillos de crecimiento en las dos especies de interés.

Determinar los patrones de crecimiento diamétrico anual de las poblaciones de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*; y su relación con factores climáticos.

Establecer lineamientos de aprovechamiento para el manejo forestal sostenible de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*, ajustando un modelo de crecimiento con los datos de incremento diamétrico anual obtenidos de la medición de sus anillos, los que serían implementados en los bosques de la RACN.

2.3. Preguntas de investigación

¿Las especies de interés presentan anillos de crecimiento anual que puedan ser observados?

¿Cuáles son los patrones de crecimiento diamétrico de las dos especies de estudio y a qué factores ambientales están asociados?

¿Existe un cambio en el patrón de crecimiento de la *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* que se refleje en sus anillos de crecimiento?

¿Existen perturbaciones del clima regional, que favorezcan el manejo forestal silvicultural en las concesiones comunitarias a corto plazo?

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Dendroecología

Rozendaal y Zuidema (2011) revisaron estudios de los avances en tres principales temas dentro del campo de la dendroecología: a) estudios de construcción de cronologías largas para las especies de árboles tropicales que permitieron las reconstrucciones del clima y revelaron fuentes en la variación climática que aclararon las relaciones clima-crecimiento; b) una serie de estudios evaluaron patrones de crecimiento a largo término de los árboles individuales durante su vida; estos estudios mejoran la comprensión de trayectorias de crecimiento, cuantifican la correlación crecimiento del árbol y las nuevas estimaciones dadas del árbol al envejecer; c) el último conjunto de estudios aplicado a anillos de crecimiento en árboles con los cuales se construyen modelos de crecimiento, pueden reemplazar mediciones de parcelas de investigación, proporcionan información adicional para construir modelos de población, mejorar producción de madera y con ello validar los resultados del modelo (Rozendaal y Zuidema 2011).

En 1870, el alemán Dietrich Brandis, luego Sir Brandis, conocido como el padre de la silvicultura tropical, desarrolló el primer estudio midiendo anillos en árboles de bosques tropicales, y tuvo como objeto de estudio el crecimiento de la teca *Tectona grandis* y determinó los ciclos de corta teniendo como base los anillos de crecimiento. Así estableció un sistema silvicultural sostenible (Worbes 2002) y con este estudio nace la dendroecología.

En su mayoría, los expertos coinciden en que los fenómenos naturales se entienden mejor cuando se observa su pasado, por ello, la dendrocronología es una herramienta útil en ecología, climatología, química, geomorfología y arqueología (Beddome 1972; Kaennel y Schweingruber 1995; Jiménez 2011).

Jiménez (2011) describe la dendrocronología como la ciencia que se dedica al estudio de los anillos de crecimiento en árboles, analizando el tiempo de formación y su relación con las condiciones medioambientales pasadas de un sitio; esto ya reflejaba lo que se conoce como dendroecología. Un concepto de dendrocronología y que es restringido es el planteado por Kaennel y Schweingruber (1995) como la ciencia que permite datar la madera con anillos anuales de crecimiento.

Los anillos de crecimiento de los árboles son considerados como registros naturales del contexto medioambiental, proporcionando información de temperatura, precipitación, composición química del aire o del agua, variaciones del crecimiento de la biomasa vegetal, erupciones volcánicas, variaciones geomorfológicas, actividad solar y rayos cósmicos (Reedy *et al.* 1983; Brien *et al.* 2011).

3.2. Crecimiento diamétrico

La forma de precisar cuánto crece un árbol es a través de mediciones periódicas de su diámetro a lo largo del tiempo. Estas se pueden observar de forma acumulada en sus anillos de crecimiento,

presentes en diferentes anchuras, dado que el ambiente es determinante del crecimiento de sus diámetros (Cancino 2012).

Es necesario conocer el crecimiento de los árboles, para así entender y explicar la dinámica del rodal, ya que su crecimiento en diámetro es producto de la actividad del cámbium durante el período vegetativo; (Clark y Clark 1999). Este tejido meristemático genera cada año una capa de madera hacia el interior del fuste y una capa de corteza hacia el exterior, las cuales son fáciles de reconocer en especies con crecimiento anual. El ambiente es determinante del incremento diamétrico, así como la calidad de sitio y el manejo influyen fuertemente en este, también es afectado por la competencia entre árboles (Cancino 2012); de igual manera se dan respuestas diamétricas en los bosques por cambios climáticos (Cook 1987) o durante procesos de restauración (Pearson y Vitousek 2001).

Los efectos del cambio climático en los bosques húmedos tropicales y sus especies reflejarán la habilidad fisiológica de los organismos para sobrevivir y reproducirse bajo nuevas condiciones, aDAPtarse a cambios en el contexto ecológico, soportar impactos adicionales y ajustar sus distribuciones geográficas (Ghazoul *et al.* 2010). Poco se comprenden las claves y los requisitos de los patrones de fenología de las plantas tropicales, pero parecen vulnerables a múltiples factores incluyendo temperatura, humedad, brillo solar y ciclos estacionales (Günter *et al.* 2008).

Estudios hechos en medición del área basal en bosques tropicales de Costa Rica comprobaron que al existir un incremento de la temperatura, se reduce el proceso de fotosíntesis y aumenta la respiración de la planta, por esta razón los árboles dejan de tener un incremento diamétrico en su área basal (Clark *et al.* 2003). Según Clark (2004) existen vacíos de información en relación con el crecimiento diamétrico de los bosques tropicales como respuesta al cambio climático, ya que la información con la que se cuenta es de registros muy cortos que no logran explicar mucha de la incertidumbre.

De acuerdo con Ghazoul *et al.* (2010), se verán diferentes grados de respuestas en los árboles asociados a la especie, un ejemplo de ello serían las especies de rápido crecimiento que aprovecharán con facilidad el incremento de la temperatura para la liberación de nutrientes, lo que lleva al aumento de las concentraciones de dióxido de carbono; el aprovechamiento de la temperatura para liberar nutrientes las volverá más vulnerables a las sequías; paradójicamente, las especies de lento crecimiento tendrán muchas más limitaciones para aDAPtarse y mantener así su crecimiento.

3.3. Factores que limitan el crecimiento

El crecimiento de los árboles está asociado a los factores como el clima, la topografía, suelos y estos no operan de forma aislada; entre ellos están los que actúan de forma directa en el crecimiento del árbol como la temperatura, intensidad de luz, disponibilidad de nutrientes en el suelo y la humedad del suelo (Havel 1980), los suelos presentan factores físico-mecánicos y químicos, de acuerdo con Salas (1993) los factores físico-mecánicos son los que tienen mayor

influencia en el crecimiento. Dentro de los factores físicos del suelo, se consideran características como drenado del suelo, profundidad efectiva, textura, contenido de materia orgánica, pedregosidad y pendiente, siendo estos los que tienen influencia directa en el crecimiento (Herrera y Alvarado 1998) (Suárez de Castro 1980). Condiciones como precipitación y temperatura son factores que influyen directamente el crecimiento de los árboles (Holdridge 1987), aunque existen respuestas de crecimiento a corto plazo que se pueden explicar con factores de cambio climático regionales (Root *et al.* 2005).

3.4. Bosques huracanados

Los huracanes son fenómenos naturales, Lugo y Inbar (2002) describen las zonas en el cinturón tropical alrededor del planeta con seis regiones de huracanes *Figura 1*.

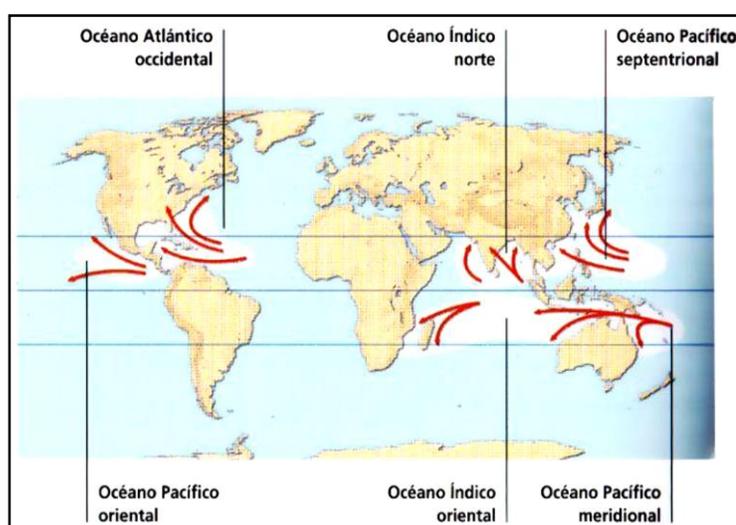


Figura 1. Región de Huracanes en el planeta (Lugo y Inbar 2002)

La RACN se ubica en la región de huracanes del océano Atlántico occidental; en 2007, el huracán Félix en su trayectoria impactó directamente el bloque de comunidades SIPBAA, la comunidad de Butku se vio directamente afectada, causando daño a sus bosques (INAFOR 2007). Los huracanes son la causa del 83% de daños a los bosques en la región (Lugo y Inbar 2002).

3.5. Análisis dendrocronológico

La dendrocronología es una ciencia que usa los anillos de crecimiento para datar eventos, donde cada capa de crecimiento se asocia con un año calendario específico y de acuerdo a Fritts (1963) se puede asociar una serie de índices de ancho de anillo (Pérez *et al.*) con una serie de datos o variables ambientales; por ejemplo precipitación, temperatura, manchas solares, brillo solar y el índices de oscilación del sur.

La dendroecología es la ciencia que estudia la ecología de los árboles y cómo interaccionan con el ecosistema en el que se encuentran y usa a la dendrocronología para estudiar el crecimiento de poblaciones vegetales; está basada en algunos principios que describen Fritts *et al.* (1979) y

Schöngart (2008), los cuales son implementados en el suavizado de curvas como nuevo enfoque para la estandarización del ancho de serie en anillos de crecimiento para estudios dendroclimáticos de bosques usados por Cook y Kairiukstis (1990) y que se detallan a continuación.

3.5.1. Principio de uniformidad

El principio de uniformidad establece que las condiciones físicas y biológicas bajo las que un árbol crece en la actualidad también estuvieron presentes en el pasado (Fritts 1976); esto fue propuesto inicialmente por Jame Hutton (1785); quien a su vez sostiene que las diferentes variaciones, como patrones climáticos observados en la actualidad, ocurrieron anteriormente; no obstante, deja en claro que el paleoclima actual no ha perdurado en el tiempo y ha cambiado, pero afirma que las condiciones limitantes que estuvieron afectando los procesos en el pasado persisten hoy en día (Fritts 1976).

3.5.2. Principio de factores limitantes

Este principio plantea que los procesos biológicos como el crecimiento del árbol no ocurrirán más rápido de lo que el factor limitante lo permita. Los factores limitantes son restrictivos durante un período, la intensidad y la duración cambian con el tiempo, es decir, un factor cambia hasta el punto en que deja de ser taxativo, cuando la tasa de crecimiento de la planta aumentará hasta que algún otro factor se vuelva limitante (Fritts 1976).

Fritts *et al.* (1979) plantea que el principio de factores limitantes es importante en la dendrocronología porque el ancho de los anillos puede ser sincronizado solo si uno o más factores ambientales se vuelven críticamente restrictivos, y persisten lo suficiente para actuar sobre una área geográfica lo bastante amplia para que el ancho de anillos u otra característica varíe en la misma forma en muchos árboles.

Este principio plantea que los factores limitantes de crecimiento en árboles que se dan en un sitio, no son los mismos ni con la misma intensidad que se pueden estar dando o persistiendo en otras zonas (Fritts 1976). Worbes (1992) establece que algunos de los factores que periódicamente restringen el crecimiento de los árboles tropicales son: las épocas secas, la temperatura (especialmente en el límite superior e inferior de las distribuciones de la especie), las inundaciones y el estrés químico. Al igual que en las zonas templadas los factores climáticos pueden ser intensificados por condiciones locales, por ejemplo: lluvias orográficas, drenajes en pendientes e inundaciones en tierras bajas.

3.5.3. Principio de amplitud ecológica

Este principio se refiere al nicho en el que se desarrolla el árbol; Fritts (1976) dice que cada especie esta predispuesta genéticamente a responder fisiológicamente de forma independiente a las condiciones del sitio en donde se encuentre (crecer, florear y dar semillas), pero existen sitios donde las condiciones la favorezcan y otras donde no; los sitios que no son aptos para el árbol pero de

igual forma se desarrollan y crecen si florecer y dar semillas, se consideran parte de la amplitud ecológica.

3.5.4. Principio de selección del sitio

Para estudios dendrocronológicos en comunidades, es requisito que los sitios de donde se obtienen las muestras compartan los mismos factores limitantes; por lo tanto, el muestreo es deliberadamente estratificado para resaltar observaciones de esa población de ancho de anillos que contiene la información deseada, pero es restringida a una especie en particular para mantener la respuesta genética más o menos constante (Fritts 1976).

Fritts (1976) establece que en la dendrocronología se debe aplicar la ley de los factores limitantes y el concepto de amplitud ecológica con el fin de asegurar la selección de los árboles que proveerán la información que se desea. Esto se refiere a los árboles con condiciones semejantes, que proporcionarán información precisa donde no habrá mucha variabilidad que deba interpretarse.

3.5.5. Principio de sensibilidad

Según Fritts (1976) este principio describe la variación en el ancho de los anillos de un árbol; esta variación estará definida por los factores ambientales en los que se desarrolle cada anillo, la no manifestación de esta variabilidad se le conoce como complacencia. Estas variaciones se calculan para cada individuo y la especie con mediciones a las que estadísticamente se les llama sensibilidad media y quienes la usan la conciben como la diferencia relativa del ancho del anillo adyacente.

3.5.6. Principio de sincronización

Llamado por Fritts (1976) *cross-dating*; este principio es considerado el más importante de todo el proceso dendrocronológico, ya que asegura la correcta ubicación de los anillos de crecimiento en el tiempo, permitiendo de esta forma precisión en la experimentación.

Para Fritts (1976), este principio permite primero la sincronización entre anillos del mismo árbol; para, posteriormente, hacerlo entre los árboles de la comunidad o rodal. La variabilidad entre los anchos de anillos son evaluadas y aglomeradas como los anillos de período en común, esto si la variabilidad entre los anchos de anillos de los diferentes árboles no es significativa, ya que representará la tendencia de crecimiento para ese período o año.

La sincronización es posible porque la misma o similares condiciones ambientales han limitado el crecimiento en una gran cantidad de árboles y las fluctuaciones anuales de factores ambientales similares a través de una región producen variaciones sincrónicas en la estructura de los anillos (Fritts 1976).

3.5.7. Principio de replicación

Establece que posterior a la sincronización de la unidad muestreada, es preciso hacer una separación de modelos donde se pueda discriminar las muestras que presentan distribución de anillos diferentes, ya que se da que algunas tienen más anillos o menos anillos de crecimiento. Esto supone que algunos especímenes presenten bandas de crecimiento intraanuales que hace suponer anillos reales, y con ello se minimiza inconsistencias en la futura sincronización entre muestras del mismo rodal (Fritts 1976).

3.5.8. Principio de estandarización

Cuando el ancho de los anillos tienen mucha variación, esta se puede entender como la fluctuación de condiciones ambientales, la edad del árbol, la altura en el tallo o condiciones de crecimiento relacionadas al sitio; es conveniente que se eliminen, ya que cuando se desarrolla la parte del ajuste dendroclimático los cambios abruptos en los anillos no permiten que el arreglo del sincronizado se dé. Esta eliminación es la que Fritts (1976) considera como estandarización y también es conocida como índice de ancho de anillos, ya que representa el índice estandarizado de los árboles individuales con el que se obtiene la cronología media o el incremento medio anual.

Para Cook *et al.* (1992), la estandarización de las mediciones de ancho de anillos transforma los anchos de anillos no estacionarios en una nueva serie estacionaria; estos índices por lo general no tienen tendencia y su valor medio es cero cuando se calculan como diferencias y uno si se calculan como cocientes. Esto se logra obteniendo la diferencia o cociente entre cada ancho de anillo medido (R_t) y su valor estimado (G_t) respectivamente y posteriormente estandarizando en el caso de los residuos.

3.5.9. Principio de relaciones medio ambientales

Según Fritts (1976), las inferencias acerca de ambientes y climas pasados se basan en algún modelo de cómo el ambiente afecta el crecimiento. El modelo puede ser una afirmación, ecuación o diagrama que representa un conjunto básico de factores y sus interrelaciones.

Cook (1992) considera una serie de anillos como un conjunto lineal de varias subseries no observadas, y las expresa como:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

dónde:

R_t = La serie del ancho de los anillos de crecimiento observados

A_t = La tendencia en el ancho de los anillos de crecimiento relacionadas con el tamaño y la edad de los árboles (Ontogenia)

C_t = La señal climática relacionada con el ambiente

δDIt = Perturbaciones causadas por factores endógenos, a nivel local

$\delta D2t$ = Perturbaciones causadas por factores exógenos a nivel de rodal; y

E_t = El error aleatorio

δ : Es un indicador binario de la presencia ($\delta = 1$), o de la ausencia ($\delta = 0$) de la perturbación en algún momento t .

Este modelo está expresado en forma lineal para simplificar la discusión de los conceptos asociados con los componentes.

3.5.10. Principio de calibración y verificación

La calibración se logra mediante la construcción de un modelo estadístico, el cual simula la situación actual; para esto, se establecen los valores de los coeficientes estadísticos del modelo y luego se aplican los coeficientes a los IAA de los árboles para reconstruir el clima en períodos anteriores, donde los IAA están disponibles, pero donde no existe registro del medio ambiente pasado (Fritts 1976).

Las asociaciones estadísticas dan lugar a la calibración y son consecuencia de una relación de causa y efecto, entre el crecimiento de los árboles y el clima o pueden representar efectos puramente correlacionados. Dichas correlaciones son útiles para reconstruir las variaciones climáticas pasadas y esto supone la verificación (Fritts 1976).

3.6. Consideraciones para estudios de dendroecología

La homogeneidad del sitio determina la calidad de la cronología, esta solo debería ser construida a partir de árboles provenientes de la misma clase de sitios. Sin embargo, por razones de logística frecuentemente es necesario agrupar árboles de diferentes lugares, pero con condiciones de sitio similares (Schweingruber *et al.* 1992).

3.7. Las especies de interés en la investigación

Para este estudio, se consideran las especies *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*. Estas son de la familia de las *Meliaceae* con la capacidad de registrar en sus anillos las variaciones climáticas (Dünisch *et al.* 2003); de igual forma, presentan distribución en la región de la RACN (Cordero *et al.* 2003) y son de importancia comercial para las comunidades (Cordero y Boshier 2003).

3.8. *Swietenia macrophylla*

Es un árbol decíduo, de 30-45 m de altura habitualmente, pero que puede alcanzar los 50 m y 2 m de DAP. Produce un fuste largo y recto, cilíndrico, libre de ramas en los primeros 12-18 m, a menudo con grandes aletones. Las copas de los árboles mayores pueden alcanzar hasta 20 m de diámetro. Corteza gris y lisa de joven, marrón oscura acanalada y escamosa de maduro. Hojas compuestas, de 16 a 40 cm de largo, alternas y agrupadas al final de las ramillas. Cada hoja tiene

de 3 a 6 pares de hojuelas opuestas de 9 a 14 cm de largo. Flores: pequeñas, con cinco pétalos blanco amarillentos, agrupadas en inflorescencias axilares. Son unisexuales y el árbol es monoico. El fruto es una cápsula leñosa, erecta, de 12 a 22 cm de largo por 6 a 10 cm de ancho. Cuando maduran y se secan las 4 a 5 valvas del fruto, se abren desde la base. Las semillas quedan entonces expuestas y colgando por las alas en el centro del fruto. Cada fruto contiene entre 35 y 45 semillas aladas, color marrón y de 7.5 a 12 cm de largo incluyendo el ala (Cordero *et al.* 2003).

El hábitat natural de la caoba es el bosque tropical y subtropical de bajura, a altitudes de 50-500 msnm, pudiendo llegar hasta los 1400 msnm, con temperaturas de 22-28 °C, con climas secos, húmedos o muy húmedos, donde las precipitaciones oscilan entre 1000 y 2500 mm, aunque se puede encontrar en áreas más extremas, más húmedas o más secas (por ejemplo en bosque seco en Guanacaste, Costa Rica). Puede tolerar estaciones secas de cuatro meses. Sin embargo, una región con una alta precipitación y una estación seca prolongada es menos adecuada para su crecimiento que una con menor precipitación y una estación seca más corta.

Bajo cultivo, la caoba ha dado buenos resultados en áreas con precipitaciones de hasta 5000 mm por año, y con temperaturas desde 12 a 37°C. Crece en una gran variedad de suelos, desde arcillosos a arenosos, pero prefiere suelos aluviales profundos, bien drenados y fértiles, preferiblemente alcalinos a neutros, aunque también puede crecer en suelos ácidos, con pH de hasta 4.5. Se puede encontrar tanto en bordes de sabanas de pino como en bosque lluvioso, pero principalmente en fajas de bosque latifoliado. La densidad de árboles de caoba por hectárea es de 2 a 3, sin embargo, raramente se encuentran densidades mayores de 4 a 8 árboles/ha. En Mesoamérica, se comporta como una especie pionera colonizadora en tierras agrícolas degradadas (Cordero *et al.* 2003).

El crecimiento diamétrico de los árboles de caoba en bosque primario es de aproximadamente 0.4 cm por año (Cordero *et al.* 2003); mientras que Shono y Snook (2006) reporta incrementos diamétricos de 1 cm por año en bosques naturales de Belice. El crecimiento, sin embargo, es más rápido en plantaciones, normalmente en el rango 1.2-1.4 cm por año. En Costa Rica, Honduras, Ecuador y Perú se han registrado incrementos cercanos a 2 cm por año, y en ocasiones, un crecimiento sostenido hasta 3 cm durante 15 a 20 años en plantaciones con fertilización (Cordero *et al.* 2003).

El crecimiento en altura varía típicamente entre 1 y 2 m por año. En ensayos de progenies en Trinidad y Costa Rica, la altura varió de 3.6 a 4.7 m a los 30 meses de edad en Trinidad y de 2.5 a 4.7 m a los 33 meses en Costa Rica. La productividad cambia ampliamente dependiendo del sitio, la densidad, el manejo, etc., y se han reportado incrementos de 5 a 14 m³/ha/año en Fiji, 6 m³/ha/año en Belice, 17 m³/ha/año durante 25 años en Guadalupe, 18 m³/ha/año durante 20 años en Indonesia, y 14 a 20 m³/ha/año durante 35 años en Martinica, con máximas de 30 m³/ha/año en los mejores sitios. En términos generales, cifras de 10 a 25 m³/ha/año son más usuales en plantaciones. En el bosque natural, los árboles requieren de 60 a 100 años para alcanzar un tamaño comercial; mientras que en plantaciones pueden hacerlo en 30 a 50 años (Cordero *et al.* 2003).

La caoba *Swietenia macrophylla* es un árbol tropical, con una amplia distribución en Mesoamérica (Huerta *et al.* 2003), su madera tiene un alto valor comercial (Cordero y Boshier 2003), los primeros embarques de caoba a los Estados Unidos (Boston) datan desde 1855 y 1856 (Mendieta *et al.* 1999), esta explotación de más de un siglo ha provocado indicios de declive y fragmentación en las poblaciones con distribución natural (Guillén Vallejos 2006).

En Nicaragua, el valor de la madera de esta especie en pie, para 1995 era de US\$20 a 25/m³, mientras que los precios de la madera transformada alcanzan precios de US\$ 302/m³ (Cordero y Boshier 2003), sobre estas circunstancias se ha considerado el aprovechamiento de la caoba como parte integral del componente forestal en los modelos de desarrollo para comunidades bajo planes de manejo forestal y modelos de fincas agroforestales (Mendieta *et al.* 1999). En países como Guatemala Snook (1998) detalla el aprovechamiento de caoba por metro cúbico en US\$137.

Dado el interés económico en la caoba *Swietenia macrophylla*, se ha estudiado ampliamente su ecología y distribución (Alcalá Martínez 2011), así mismo se conoce las condiciones en las que se obtendría los máximos de rendimiento; pero existen vacíos de información puntuales, como los que se presentan en las comunidades de la RACN en Nicaragua, donde aún no tienen inventarios forestales de las poblaciones de caoba; esto ocurre porque los requisitos administrativos son menos estrictos; de igual forma se desconoce la aplicación de planes de manejo como exigencia mínima para el aprovechamiento forestal (Guillén Vallejos 2006).

Por lo anterior, se plantea que en los bosques huracanados de la RACN se establezcan parcelas permanentes, donde se lleven a cabo estudios que permitan determinar la dinámica de crecimiento de la caoba en relación con variables ambientales; de esta forma, establecer la relación entre la producción de biomasa y la variabilidad climática de la zona; con lo cual se tendrían criterios para instituir lineamientos de manejo forestal sostenible (Guillén Vallejos 2006).

Snook (1998) describe estudios de producción de caoba donde evalúa las condiciones favorables para la regeneración ya sea plantadas o naturales. El autor obtiene que la supervivencia y el crecimiento de plántula de caoba en claros más grandes del bosque es lo ideal; que las caobas sembradas en parcelas bajo control mueren a los 5 años y que es inútil plantar dentro de los bosques ya que se pierde por la competencia en luz.

3.9. *Carapa guianensis*

Árbol siempre verde o deciduo que puede alcanzar alturas de hasta 60 m (25 a 40 m normalmente), DAP de hasta 2 m, con aletones fuertes, fuste cilíndrico y recto, libre de ramas hasta en un 50-75%. Copa grande y densa, con ramas arqueadas, gruesas y ascendentes. Corteza escamosa, con fisuras superficiales, grisácea. Hojas grandes (15-40 cm de largo), compuestas, paripinnadas, con 3-10 pares de hojuelas coriáceas, de margen entero, de color verde oscuro brillante en el haz y verde opaco en el envés. Las hojas jóvenes son rojizas y brillantes. Las inflorescencias miden 20 a 80 cm de longitud, con flores unisexuales blancas o crema, con un leve tono rosado en el exterior de los pétalos. Los frutos son cápsulas globosas, dehiscentes, y miden de

9 a 15 cm. Contienen generalmente cuatro semillas grandes, angulares, de testa dura y color pardo, con tres a cuatro caras planas y una redondeada que sigue el contorno de la superficie del fruto (Barrance *et al.* 2003).

Es un árbol siempreverde o deciduo (según el sitio), que forma parte del dosel superior del bosque húmedo y muy húmedo tropical, en ocasiones formando rodales puros. En América Central, se desarrolla desde el 0-800 msnm (aunque en América del Sur puede llegar a los 1400 msnm), en áreas con temperaturas promedio anuales de 20 a 35°C y precipitaciones promedio anuales de 1900 a 3500 mm, con estación seca no definida. Se encuentra en suelos con pH bajo, muy húmedos e incluso inundables, en asocio con cativo *Prioria copaifera* y en bordes de pantanos poblados de mangle. También puede crecer en laderas de pendiente moderada. En sus etapas iniciales, se adapta bien a la sombra; pero para su desarrollo rápido necesita luz completa. Las semillas son grandes y abundantes, con capacidad de flotar, por lo que producen a veces masas densas de arbolitos (Barrance *et al.* 2003).

En bosque natural, se encuentra a densidades bajas, por ejemplo en un bosque al norte de Honduras se halló 1 árbol/ha de más de 50 cm DAP, 17 árboles/ha mayores de 10 cm DAP, con área basal de 1.05 m²/ha. Como árbol tolerante de sombra, es de crecimiento lento, aunque responde a tratamientos silviculturales. En Costa Rica y Nicaragua, se han obtenido incrementos en DAP de 0.2-0.5 cm por año, con hasta 0.6-0.7 cm por año después de tratamientos de liberación (Barrance *et al.* 2003).

Plantaciones en Costa Rica de tres a nueve años de edad han mostrado incrementos medios anuales en altura de 1.2 a 1.4 m, y de 1.4 a 1.5 cm en diámetro acumulado. La organización FUNDECOR en Costa Rica ha estimado crecimientos en DAP de 14 y 20 cm a los 25 años, de 20 y 40 cm a los 50 años y de 25 y 60 cm a los 75 años bajo sistemas de iluminación lateral y plena respectivamente (Barrance *et al.* 2003).

4. RESULTADOS PRINCIPALES

4.1. Anualidad en los anillos de crecimiento

- Los resultados obtenidos durante el análisis de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* confirman la anualidad en sus anillos de crecimiento, como lo propusieron Devall *et al.* (1995), Bauch y Dünisch (2000) Dünisch *et al.* (2003), Roig y Zevallos Pollito (2009) y Grogan *et al.* (2014).
- El análisis de los anillos de crecimiento en *Swietenia macrophylla* establece que el incremento medio anual IMA en promedio de la especie es de 5.8 mm; aunque el IMA máximo alcanzado al periodo de aprovechamiento fue de 6.6 cm/año.
- El análisis de los anillos de crecimiento en *Carapa guianensis* establece que el incremento medio anual IMA en promedio de la especie es de 4.8 mm; sin embargo, el IMA máximo alcanzado al periodo de aprovechamiento fue de 5.4 cm.

4.2. Periodos de Aprovechamiento

- Tras la modelación de los patrones de incremento diamétrico, se ha determinado que *Swietenia macrophylla* entre los 61 y 89 años estará alcanzando un DAP aproximado de 40 a 65 cm y en *Carapa guianensis* se ha identificado que entre los 80 a 122 años, el árbol alcanza un DAP aproximado de 40 a 75 cm.

4.3. Relaciones del crecimiento de los árboles ante el suelo

- Las muestras de suelo obtenidas en las inmediaciones de los árboles de *Swietenia macrophylla* se encuentran bajo los parámetros que Barrance *et al.* (2003) establece para la especie, de igual forma los especímenes de suelo de *Carapa guianensis* describen un sustrato con parámetros muy semejantes a los que presentan los suelos de *Swietenia macrophylla*.

4.4. Relaciones del crecimiento de los árboles ante el clima

- Las condiciones climáticas en Layasiksa y Butku son semejantes, en ambos sitios con una temperatura media anual de 26 °C similar a la que describe Barrance *et al.* (2003) para las áreas donde se distribuyen ambas especies.
- Se sabe que la precipitación puede ser un factor limitante en el crecimiento para estas especies, según lo propuesto Rozendaal y Zuidema (2011) en *Swietenia macrophylla* y de igual forma para *Carapa guianensis* descrito por Bernal (2013); en general, no se encontraron correlaciones significativas que apoyen la existencia de una injerencia en el incremento diamétrico de los árboles por la precipitación o la temperatura.

5. CONCLUSIONES

En la zona de estudio, *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* exhiben anillos de crecimiento anuales, facilitando el desarrollo de modelos de crecimiento diamétrico y su relación con la edad del árbol como base para una mejor planificación del manejo forestal.

Los modelos desarrollados demuestran discrepancias entre los turnos de rotación calculados con base en criterios biológicos y los turnos que corresponden a los diámetros mínimos de corta establecidos por normas técnicas. Es notorio que el diámetro mínimo de corta DMC de 40 cm establecido, por las normas técnicas nicaragüenses para *Carapa guianensis*, es inferior a los diámetros considerados aprovechables por criterios biológicos. El DMC de 50 para *Swietenia macrophylla*, está dentro del rango considerado biológicamente deseable.

La variación de la precipitación y la temperatura en la zona de estudio no influyen en el crecimiento diamétrico de las dos especies, probablemente debido a la corta duración del periodo anual seco.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá Martínez, R.E. 2011. Ecología, genética y conservación de la caoba (*Swietenia macrophylla*): herramientas para un manejo aDAPtativo de la selva Maya de Quintana Roo, México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. In. 2011. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. FQ006. México, D.F., Universidad Autónoma de del Estado de Morelos. p. Consultado 19 Ags. 2014. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfFQ006.pdf>
- Amoroso, M.; Suárez, M.L. 2015. La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la dendroecología en Hispanoamérica. *Revista Ecosistemas* (2): 1-6. Consultado 03 Oct. 2015. Disponible en <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1105>
- Atienza Vanaoig; Luis, V. 2011. El tamaño de una imagen digital. Valencia Universidad Politécnica de València Consultado 20 Sep. 2015. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/12710>
- Barrance, A.; Cordero, J.; Boshier, D.; Enseñanza, C.A.T.d.I.y. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Bib. Orton IICA/CATIE. Consultado 17 Sep 2014. Disponible en <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=q-0NAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Carapa+guianensis/+Cordero&ots=Esc1jaieiz&sig=TJHY3C9F8TGWL3kWH6sPct5nPr8#v=onepage&q=Carapa%20guianensis%2F%20Cordero&f=false>
- Bauch, J.; Dünisch, O. 2000. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation-grown and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia. *Iawa Journal* (3): 321-333. Consultado 03 de Agos. 2015. Disponible en <http://www.researchgate.net/publication/255531774>
- Beddome, R.H. 1972. *Icones Plantarum Indiae Orientalis Or Plates and Descriptions of New and Rare Plants from Southern India and Ceylon. Today and Tomorrow.* Consultado 02 Ags. 2014. Disponible en <http://books.google.co.cr/books?id=7F4qtwAACAAJ>
- Bernal, M. 2013. Estudio dendroecológico de la dinámica forestal en un gradiente altitudinal tropical. M.Sc. Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad Turrialba, Cartago, Costa Rica., CATIE. 102 p. Consultado 20 Jul. 2014.
- Brienen, R.J.; Zuidema, P.A. 2006. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* (1): 256-267. Consultado 03 Sep. 2015. Disponible en http://www.researchgate.net/profile/Roel_Brienen/publication/46678982_The_use_of_tree_rings_in_tropical_forest_management_Projecting_timber_yields_of_four_Bolivian_tree_species/links/0c96053220862b6f80000000.pdf
- Brienen, R.J.; Wanek, W.; Hietz, P. 2011. Stable carbon isotopes in tree rings indicate improved water use efficiency and drought responses of a tropical dry forest tree species. *Trees* (1): 103-113. Consultado 10 Nov. 2014. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/s00468-010-0474-1>
- Brienen, R.J.W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. Utrecht University. Consultado 10 Ago. 2015. Disponible en <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/7330>
- Cancino, J.O. 2012. Dendrometría básica. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Consultado 02 Sep. 2014. Disponible en <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/123456789/407>

- Clark, D.A.; Clark, D.B. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. *Ecological applications* (3): 981-997. Consultado 03 Nov. 2014. Disponible en <http://www.umsl.edu/~biology/files/pdfs/dave-clark/1999%20Clarkand%20ClarkEcolApps.pdf>
- Clark, D.A.; Piper, S.; Keeling, C.; Clark, D.B. 2003. Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984–2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (10): 5852-5857. Consultado 13 Nov. 2014. Disponible en <http://www.pnas.org/content/100/10/5852.full.pdf+html>
- Clark, D.A. 2004. Tropical forests and global warming: slowing it down or speeding it up? *Frontiers in Ecology and the Environment* (2): 73-80. Consultado 08 Nov. 2014. Disponible en <http://faculty.washington.edu/timbillo/Readings%20and%20documents/CO2%20and%20Forests%20readings/Bush%20School%20Readings/Clark%202004%20Frontiers%20Trop%20forests%20%20glob%20warming1.pdf>
- Clark, D.B.; Clark, D.A.; Oberbauer, S.F. 2010. Annual wood production in a tropical rain forest in NE Costa Rica linked to climatic variation but not to increasing CO₂. *Global Change Biology* (2): 747-759. Consultado 5 de Nov. 2015. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2009.02004.x/abstract>
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala). Manuales No. 03(01-2012). Manual para la administración forestal. Guatemala. 2012. Consultado 25 de Oct. 2015. Disponible en www.conap.gob.gt/.../conap.../departamento-de...forestal/tramites-forestal.h...
- Constante García, V.; Villanueva Díaz, J.; Cerano Paredes, J.; Estrada Ávalos, J. 2009. Medición y calidad de fechado en anillos de árboles. Gómez Palacio, Durango, México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. (Folleto Técnico 14). Consultado 01 Agost. 2014.
- Cook, E.R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Consultado 09 de Nov 2014. Disponible en <http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/261788/1/trb-47-037-059.pdf>
- Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Springer. 394 p. Consultado 12 Oct. 2014.
- Cook, E.R. 1992. A conceptual linear aggregate model for tree rings. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. *2nd ed.* Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 394 p. (Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences) Consultado 10 Nov 2014.
- Cook, E.R.; Briffa, K.; Shiyatov, S.; Mazepa, V. 1992. Tree-ring standardization and growth-trend estimation. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 394 p. (Methods of Dendrochronology Applications in the environmental sciences) Consultado 10 Nov 2013.
- Cordero, J.; Boshier, D. 2003. *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Instituto Forestal de Oxford y Centro Agronómico Tropical para la Investigación y la Enseñanza. Oxford. (Swietenia macrophylla. Carapa guianensis.) Consultado 11 Ags. 2014. Disponible en www.herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/.../swietenia_macrophylla.pdf
- Cordero, J.; Boshier, D.; Barrance, A.; Enseñanza, C.A.T.d.I.y. 2003. *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Cordero, J ed. Oxford Forestry Institute Great Britain. Forestry Research Programme, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1079 p. Consultado 10 May 2014. Disponible en <http://books.google.es/books?id=q-0NAQAIAAJ>
- Cybernetics, M. 2005. *Image-Pro Plus, Version 6.0 for Windows. Start-Up Guide*. Media Cybernetics, Inc. Consultado 12 de Sep. 2015. Disponible en <http://web.uvic.ca/ail/techniques/IPPStartUp.pdf>

- Dawkins, H.C. 1958. The management of natural tropical high-forest with special reference to Uganda. Inglaterra, Imperial Forestry Institute, University of Oxford. Consultado 13 de Nov. 2015.
- Delgado, D.; Finegan, B. 1999. Biodiversidad vegetal en bosques manejados. *Revista Forestal Centroamericana*: 14-20. Consultado 03 Feb. 2015. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=069448>
- Devall, M.S.; Parresol, B.R.; Wright, S.J. 1995. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in central Panama. *Iawa Journal* (4): 411-424. Consultado 07 de Jul. 2014.
- Dezseo, N.; Worbes, M.; Ishii, I.; Herrera, R. 2003. Annual tree rings revealed by radiocarbon dating in seasonally flooded forest of the Mapire River, a tributary of the lower Orinoco River, Venezuela. *Plant Ecology* (1): 165-175. Consultado 7 de Jul. 2014.
- Dünisch, O.; Montóia, V.R.; Bauch, J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L.(Meliaceae) in the central Amazon. *Trees* (3): 244-250. Consultado 03 Sep. 2014.
- Finegan, B.; Camacho, M.; Zamora, N. 1999. Diameter increment patterns among 106 tree species in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest. *Forest Ecology and Management* (3): 159-176. Consultado 18 de Sep. 2015. Disponible en <http://www.sidalc.net/repdoc/A6391i/A6391i.pdf>
- Fritts, H.C. 1963. Computer programs for tree-ring research. Consultado 11 Nov. 2014. Disponible en <https://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/259363/1/trb-25-03-04-002-007.pdf>
- Fritts, H.C.; Lofgren, G.R.; Gordon, G.A. 1979. Variations in climate since 1602 as reconstructed from tree rings. *Quaternary Research* (1): 18-46. Consultado 11 Nov. 2014. Disponible en http://treeringsociety.org/TRBTRR/TRBvol39_29-38.pdf
- Fund), W.W.W. 2003. Plan de Manejo Forestal KIWATINGNI. Bilwi, World Wildlife Fund. 89 p. (Manejo Forestal Comunitario de la Comunidad de Layasiksa). Consultado 30 Oct 2014.
- _____. 2004. Plan de manejo Forestal SIPBAA. Bilwi RAAN, World Wildlife Fund. 121 p. (Manejo Forestal Comunitario en las Comunidades del Bloque SIPBAA) Consultado 30 Oct. 2014.
- Gallego, B.; Finegan, B. 2004. Evaluación de enfoques para la definición de especies arbóreas indicadoras para el monitoreo de la biodiversidad en un paisaje fragmentado del Corredor Biológico Mesoamericano. *Recursos Naturales y Ambiente (CATIE)*. Mar 2004. (41): 49-61. Consultado 04 Dic. 2014. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=OET.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=032725>
- García González , I.; García Rodríguez , L.; Díaz Vizcaino, E. 2001. Empleo de un Escáner de Sobremesa para la Medición Manual de Anillos de Crecimiento. *Congreso Forestal Español*. Consultado 28 Oct. 2013. Disponible en <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/3CFE01-071.pdf>
- Ghazoul, J.; Sheil, D.; Ghazoul, J.; Ghazoul, J. 2010. *Tropical rain forest ecology, diversity, and conservation*. Oxford University Press Oxford. Consultado 09 Nov. 2014.
- Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA.
- Guillén Vallejos, J. 2006. Estudio sobre la situación de la caoba (*Swietenia macrophylla*) en Mesoamérica. Informe de Nicaragua. *Fauna & Flora International*. Consultado 18 Ags.

2014. Disponible en <http://globaltrees.org/wp-content/uploads/2008/07/MahoganyReportSpanish.pdf>
- Günter, S.; Stimm, B.; Cabrera, M.; Díaz, M.L.; Lojan, M.; Ordonez, E.; Richter, M.; Weber, M. 2008. Tree phenology in montane forests of southern Ecuador can be explained by precipitation, radiation and photoperiodic control. *Journal of Tropical Ecology* (03): 247-258. Consultado 11 Nov. 2014. Disponible en <http://www.pnas.org/content/96/24/13869.short>
- Havel, J. 1980. Application of fundamental synecological knowledge to practical problems in forest management: I. Theory and methods. *Forest Ecology and Management*: 1-29. Consultado 13 Nov. 2014. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037811278090002X>
- Hernández, L.; Williams, J. 2009. Anatomía de la madera y clave de identificación para especies forestales vedadas en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* (053): 51-62. Consultado 22 de Oct. 2015. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/30840/1/articulo5.pdf>
- Herrera, B.; Alvarado, A. 1998. Calidad del sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. *Agronomía Costarricense* (1): 99-117. Consultado 10 Nov. 2014. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v22n01_099.pdf
- Herrera, B.; Morales, J.; Rodríguez, J. 2010. Nicaragua. Uso Potencial de la Tierra. Compendio de mapas. Managua, Nicaragua. Disponible en <http://www.magfor.gob.ni/descargas/publicaciones/mapas/CompendioMapas.pdf>
- Hillam, J. 1997. Dendrochronology: guidelines on producing and interpreting dendrochronological dates. Consultado 24 Jul 2014. Disponible en www.english-heritage.org.uk/publications/dendrochronology-guidelines/
- Holdridge, L.R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Agroamérica. Consultado 22 de Sep. 2014. Disponible en [http://antioquia.gov.co/Agricultura/Mapas/LIBRO_ZONIFICACION_2011/INFORMACION%20BASICA%20PARA%20LA%20ZONIFICACION/Zonas de Vida.pdf](http://antioquia.gov.co/Agricultura/Mapas/LIBRO_ZONIFICACION_2011/INFORMACION%20BASICA%20PARA%20LA%20ZONIFICACION/Zonas%20de%20Vida.pdf)
- Holmes, R. 2004. Dendrochronology Program Library Version 6.06P. Consultado 01 Agost. 2014. Disponible en <http://lrr.arizona.edu/research/software>
- Huerta, P.; Lombardi, I.; Barrena, V.; Cuba, K. 2003. Brigadas de Caracterización. Consultado 19. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/proyectocaoba/A5-Instructivo%20de%20Campo%20-%20Brigadas%20de%20Caracterizaci%C3%B3n%20-%20ITTO-CAOBA.pdf>
- Imaña, J.; Encinas, O. 2008. *Epidimetría Forestal*. Brasilia, Brasil
- Universidad de Brasilia-Universidad de Los Andes Venezuela. 65 p. Consultado 14 Oct. 2015. Disponible en http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf
- INAFOR (Instituto Nacional Forestal, Nicaragua) 2007. Evaluación de daños al ecosistema forestal ocasionados por el huracán Félix. Managua, Nicaragua. Disponible en http://www.inafor.gob.ni/publica/search_result.html?search_phrase=Evaluaci%C3%B3n+de+Da%C3%B1os+Causados+por+el+Hurac%C3%A1n+F%C3%A9lix+en+el+Caribe+de+Nicaragua.&catid=0&ordering=newest&search_mode=any&search_where%5B%5D=search_name&search_where%5B%5D=search_description
- Jiménez, J.A.G. 2011. Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia Forestal* (1): 15. Consultado 10 Ags 2014. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3554>

- Kaennel, M.; Schweingruber, F.H. 1995. Multilingual glossary of dendrochronology. Consultado 25 Oct 2014.
- Lieberman, D.; Lieberman, M.; Hartshorn, G.; Peralta, R. 1985. Growth rates and age-size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* (02): 97-109. Consultado 02 Nov 2014.
- Lugo, J.; Inbar, M. 2002. Desastres naturales en América Latina. FCE, México, DF. Consultado 03 Feb 2015. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ORTON.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=081771>
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y forestal, Nicaragua). NTON 18001-04 "Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el uso sostenible del recurso forestal maderable de Nicaragua". Compendio jurídico forestal de Nicaragua Nicaragua. 2006. Consultado 01 de Nov. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/forestry/13806-04752cabe742ac969152bd5d193f62b4a.pdf>
- _____. 2015. Estrategia para el Desarrollo de Plantaciones Forestales y Agroforestales en el Trópico Húmedo de Nicaragua. Managua. Disponible en <http://www.magfor.gob.ni/descargas/estudios/Manual%20para%20el%20establecimiento%20de%20plantaciones%20en%20tropico%20humedo.pdf>
- Mendieta, M.; Zapata, J.; Tom, J.; Centro Científico Tropical, S.J.C.C.d.A.y.D., Guatemala. 1999. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica: Honduras. Consultado 18 Ags. 2014. Disponible en http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnack095.pdf
- Ortega, S. 2009. Caracterización socioeconómica de la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) de Nicaragua. Managua, Nicaragua. Disponible en <http://www.funica.org.ni/docs/Caracterizacion%20socioeconomica%20de%20la%20RAAN%20VF%20ES.pdf>
- Pacheco, P.; Barry, D.; Cronkleton, P.; Larson, A.M. 2008. The role of informal institutions in the use of forest resources in Latin America. Indonesia, Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. Consultado 10 Nov. 2015. Disponible en http://www.cifor.org/publications/pdf_files/books/bpacheco0801.pdf
- Pearson, H.L.; Vitousek, P.M. 2001. Stand dynamics, nitrogen accumulation, and symbiotic nitrogen fixation in regenerating stands of *Acacia koa*. *Ecological applications* (5): 1381-1394. Consultado 11 Nov 2014.
- Pérez, M.A.; Finegan, B.; Delgado, D.; Louman, B. 2001. Composición y diversidad de los bosques de la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua. *Revista Forestal Centroamericana*: 34, 40-45. Consultado 27 Ene 2015. Disponible en <http://biblioteca.catie.ac.cr/comunicacion/Publicaciones/Ecologia/2.pdf>
- Pinelo, G. 2000. Manual para el establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Manuel Técnico No. 40. CATIE, Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala. 52 p. (Turrialba, Costa Rica, CATIE. 52p) Consultado 10 Sep. 2014.
- Reedy, R.C.; Arnold, J.R.; Lal, D. 1983. Cosmic-ray record in solar system matter. *Science* (4581): 127-135.
- Rinntech. 2011. TSAP-Win. (Time Series Analysis an presentation for dendrochronology an related apllications. Versión 4,64 for Microsoft Windows) Consultado 01 Agost. 2013. Disponible en <http://www.rinntech.de/content/view/17/48/lang,english/index.html>
- Roig, F.A.; Zevallos Pollito, P.A. 2009. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología en Bolivia* (2):

- 73-82. Consultado 8 Ags. 2014. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282009000200001&script=sci_arttext
- Root, T.L.; Hughes, L.; Lovejoy, T.; Hannah, L. 2005. Present and future phenological changes in wild plants and animals. See Lovejoy & Hannah: 61-69. Consultado 10 Nov 2014. Disponible en http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr191/psw_gtr191_1115-1118_root.pdf
- Rozendaal, D.M.; Zuidema, P.A. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. *Trees* (1): 3-16. Consultado 24 Jul. 2014. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00468-010-0480-3>
- Salas, J.B. 1993. Árboles de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente, Managua, Nicaragua.[Links]. Consultado 09 Nov. 2014.
- Salud, O.O.P.d.l. 2007. Caracterización de poblaciones en riesgo de la Región Autónoma del Atlántico Norte Nicaragua. Disponible en <http://www.bvd.org.ni/digitalizacion/pdf/spa/doc0216/doc0216.pdf>
- Schöngart, J.; Wittmann, F.; Worbes, M.; Piedade, M.T.F.; Krambeck, H.-J.; Junk, W.J. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd.(Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* (6): 657-664. Consultado 20 Oct. 2015. Disponible en <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00884118/document>
- Schöngart, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): a new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian varzea floodplains. *Forest Ecology and Management* (46-48). Consultado 20 Dic. 2014. Disponible en www.elsevier.com/locate/foreco
- Schweingruber, F.; Kairiukstis, L.; Shiyatov, S. 1990. Sample selection. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*: 23-35. Consultado 10 Sep 2014.
- Schweingruber, F.; Kairiukstis, L.A.; Shiyatov, S. 1992. Sample selection. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. II ed. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. (*Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences*) Consultado 08 de Nov 2013.
- Sesnie, S.E.; Finegan, B.; Gessler, P.E.; Ramos, Z. 2009. Landscape-Scale Environmental and Floristic Variation in Costa Rican Old-Growth Rain Forest Remnants. *Biotropica* (1): 16-26. Consultado 04 Dic 2014. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2008.00451.x/abstract?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>
- Speer, J. 2010. *Fundamental of tree-ring research*. New York, USA, The University of Arizona Press Tucson. Consultado 01 Agost. 2013.
- Stahle, D.; Mushove, P.; Cleaveland, M.; Roig, F.; Haynes, G. 1999. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. *Forest Ecology and Management* (2): 217-229. Disponible en http://www.researchgate.net/profile/Gary_Haynes/publication/222498097_Management_implications_of_annual_growth_rings_in_Pterocarpus_angolensis_from_Zimbabwe/links/55147ffa0cf2eda0df327124.pdf
- Suárez de Castro, F. 1980. *Conservación de suelos*. IICA, San José (Costa Rica). 315 p. Consultado 08 Nov 2014.

- Swetnam, T.W.; Thompson, M.A.; Sutherland, E.K. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. Consultado 01 Ags. 2014. Disponible en <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/40898>
- Tapia, A.; Dussart, E. 2003. Aportes de la dendrocronología al estudio de la evolución del caldenar pampeano durante la ocupación ranquelina. Consultado 13 Ags. 2014. Disponible en www.fcnym.unlp.edu.ar/.../rmlp_antro_2013_t13_n87_tapia_et al.pdf
- Territoriales), I.I.N.d.E. 2015. Datos Meteorológicos de la Puesto Cabezas Nicaragua. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/>
- Villanueva, J.; Cerano, J.; villanueva , V.; Montes, L.; Vásquez, L. 2009. Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. Gomez Palacio, Durango, México, Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 53 p. (Folleto Técnico 13) Consultado 01 Agost. 2014.
- Wagenmakers, E.-J.; Farrell, S. 2004. AIC model selection using Akaike weights. Psychonomic bulletin & review (1): 192-196. Consultado 10 Oct.2015. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.3758%2F03206482?LI=true>
- Worbes, M. 1992. Site and sample selection in tropical forest. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. 2nd ed. Netherlands Academic Publishers. 394 p. (Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences) Consultado 10 Nov 2014.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. Journal of ecology (3): 391-403. Consultado 07 de Jul. de 2014.
- _____. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics a brief history and an outlook to future challenges. Dendrochronologia (1): 217-231. Consultado 16 Sep 2014.
- WorldClim. 2014. Global climate data. Disponible en <http://www.worldclim.org/download>

CAPÍTULO II

Artículo

Dinámica del crecimiento de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* en bosques de la Región Autónoma del Caribe Norte de Nicaragua a través del enfoque dendroecológico: Una contribución al manejo forestal sostenible

Por: **Darwin Rolando Paguada Pérez**

Resumen

Los bosques tropicales de la Región Autónoma del Caribe Norte en Nicaragua (RACN) son una importante fuente de sustento económica y de bienestar para pueblos indígenas de zona. Por lo tanto, es esencial para la regular la gestión de estos bosques. Esta investigación tiene como objetivo contribuir a la silvicultura comunitaria en dos sitios, Layasiksa y Butku, a través de un enfoque dendroecológico que genera conocimiento para describir el desarrollo de dos especies forestales *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*, en relación con los factores climáticos. Para ello, se examinaron 18 árboles de *Swietenia macrophylla* y 42 árboles de *Carapa guianensis*; obteniendo 27 y 24 núcleos sincronizados y correlacionados respectivamente. Estas cronologías presentaron un índice de ancho de anillo que se correlacionó posteriormente con la precipitación y temperatura. Los modelos de crecimiento permiten la exploración de los tiempos de rotación y ciclos de corta, con el período de cosecha en *Swietenia macrophylla* entre 65 y 85 años, tiempo durante el cual el árbol alcanza aproximadamente entre 40 a 65 cm DAP. El período correspondiente para *Carapa guianensis* es de 70 a 122 años cuando el árbol alcanzaría aproximadamente 40 a 70 cm DAP. Los modelos desarrollados demuestran discrepancias entre los turnos de rotación calculados con base en criterios biológicos y los turnos que corresponden a los diámetros mínimos de corta establecidos por normas técnicas. Es notorio que el diámetro mínimo de corta DMC de 40 cm determinado por las normas técnicas nicaragüenses para *Carapa guianensis*, es inferior a los diámetros considerados aprovechables por criterios biológicos. Por otra parte, el DMC de 50 cm para *Swietenia macrophylla* está dentro del rango considerado biológicamente deseable. La variación inter-anual de la precipitación y la temperatura en la zona de estudio no estuvo correlacionado con el crecimiento diamétrico de las dos especies, probablemente debido a la corta duración del periodo anual seco.

Abstract

Tropical forests of Nicaragua's northern Caribbean Autonomous Region (RACN), are an important source of economic sustenance and wellbeing for indigenous peoples of the region. It is therefore essential to regulate the management of these forests. This research aims to contribute to community forestry at two sites, Butku and Layasiksa, through a dendroecological approach that generates knowledge to describe the development of two forest species *Swietenia macrophylla* and *Carapa guianensis*, in relation to climatic factors. The research established the dynamics of growth of both species, beginning with the validation of the the annual nature of their growth rings. For this, 18 trees of *Swietenia macrophylla* and 42 of *Carapa guianensis* were examined. 27 and 24 synchronized and correlated series were obtained for *Swietenia* and *Carapa*, respectively. These provided chronologies and a ring width index that was subsequently correlated with precipitation

and temperature. The model established a mean annual increment of stem diameter in *Swietenia macrophylla* of 5.8 mm and of 4.8 mm in *Carapa guianensis*. The growth models permitted exploration of rotation times and felling cycles, with the harvest period in *Swietenia macrophylla* between 65 and 85 years, during which time the tree reaches stem diameters between 40 and 65 cm dbh. The corresponding period for *Carapa guianensis* is 70-122 years at which the tree would reach approximately 40 to 70 cm dbh. The developed models demonstrate discrepancies between the rotations calculated based on biological criteria and those based on the minimum cutting diameters established by technical standards. It is noteworthy that the minimum cutting diameter MCD of 40 cm fixed by Nicaraguan technical standards for *Carapa guianensis*, is less than the diameters considered desirable by biological criteria. On the other hand, the MCD of 50 cm for *Swietenia macrophylla* is within the range considered biologically desirable. The inter-annual variation in precipitation and temperature in the study area was not correlated with the diameter growth of the two species, probably due to the short duration of the annual dry period.

Palabras claves: enfoque dendroecología, dinámica de crecimiento, manejo forestal.

Introducción

Hoy en día el aprovechamiento forestal en bosques naturales se ha convertido en una vía de desarrollo social por el que optan las comunidades rurales, haciendo que la sostenibilidad de los bosques sea un reto para el Gobierno y la sociedad que demanda de servicios ambientales de calidad. Con esta idea países como Nicaragua velan y regulan el aprovechamiento forestal; en 2004, se publicó la Norma Técnica para el Manejo del Recurso Forestal (MAGFOR 2006), la cual establece el cómo, dónde y cuánto del aprovechamiento forestal. Esta normativa determina el aprovechamiento forestal con ciclos de corta en función del diámetro mínimo de corta en centímetros, el cual remite a un inventario forestal, donde no se precisa la forma en que se determina la dinámica de crecimiento de la especie que se desea aprovechar.

En contraste CONAP (2012), en Guatemala, establece criterios y metodología de aprovechamiento forestal basados en estudios de parcelas permanentes, con los cuales se determina la dinámica de crecimiento de la especie y con ello los ciclos de aprovechamiento forestal; últimamente ciencias como la dendroecología permiten viabilizar el aprovechamiento forestal, ya que establece el crecimiento en función de variaciones que están afectando el crecimiento del árbol o al rodal (Amoroso y Suárez 2015).

De acuerdo con Amoroso y Suárez (2015), el enfoque dendroecológico usa la anualidad de los anillos de crecimiento en la gestión forestal al determinar el ritmo de crecimiento diamétrico para establecer pautas para el manejo sostenible; ya son varios los estudios que usan este enfoque (Brienen y Zuidema 2006a; Schöngart 2008; Rozendaal *et al.* 2011; López *et al.* 2013; Grogan *et al.* 2014) para, a partir de estos, determinar los turnos de corta o rotaciones biológicas. Asimismo, los estudios de incrementos en el ancho de los anillos han permitido analizar la productividad de bosques en términos de volumen (Cruz Johnson *et al.* 2007) o a través de la estimación de los incrementos en biomasa (Worbes y Raschke 2012) y son varios los trabajos que han utilizado técnicas dendroecológicas para evaluar el impacto de prácticas y usos pasados de los bosques en el largo plazo (Amoroso y Suárez 2015)

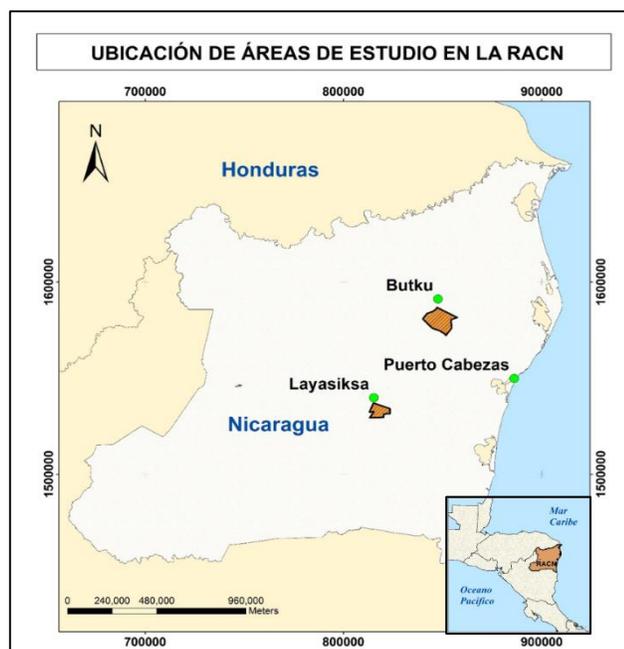
Una necesidad que tienen los bosques tropicales en Latinoamérica y que constituye un reto es son las publicaciones sobre la anatomía, calendario de los anillos, relaciones con la fenología, el clima y que a su vez sean de la familia Meliáceas, donde se describa la anatomía de los anillos de crecimiento y su ecología (Roig y Zevallos Pollito 2009).

Las comunidades indígenas de la Moskitia nicaragüense requieren de información sobre la dinámica de crecimiento de especies de interés comercial que les permita tomar acciones a corto y mediano plazo para mejorar sus áreas bajo manejo forestal. Con el propósito de contribuir con estudios que apoyen esta finalidad, se concibe la Región Autónoma del Caribe Norte en Nicaragua como una zona con gran potencial de investigación de sus especies forestales, donde se asocia la demanda de comunidades rurales que buscan herramientas para el aprovechamiento forestal sostenible.

El objetivo general de la presente investigación busca apoyar el manejo forestal sostenible de las poblaciones de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* en las comunidades de Layasiksa y Butku de la RACN haciendo uso del enfoque dendroecológico; y como objetivo específico determinar la anualidad de los anillos de crecimiento de las especies, para establecer los patrones de crecimiento que serán correlacionados con diferentes factores ambientales y así establecer ajustar modelos de crecimiento de estas especies dando lineamientos de manejo que podrían ser implementados.

Descripción de las áreas de estudio

El estudio se llevó a cabo en las comunidades de Layasiksa y Butku, en Nicaragua, en la Región Autónoma del Caribe Norte. Estas dos comunidades, tras procesos sociales de integración, destinaron sitios en los cuales se da el aprovechamiento forestal comunitario con prácticas silviculturales, practicado de forma ancestral por la comunidad Miskitas presente en la zona, donde las especies *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* son de interés por el aprovechamiento que realizan (WWF 2003; WWF 2004), (Pacheco *et al.* 2008).



Especies seleccionadas para el estudio

La *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* fueron definidas como las especies de interés dado su valor comercial y explotación dentro de las comunidades de Layasiksa y Butku. Estas dos especies son de la familia *Meliaceae* y de acuerdo con Dünisch *et al.* (2003) cuentan con la capacidad de registrar en sus anillos las variaciones climáticas. Se encuentran presentes en el territorio de la RACN (Cordero *et al.* 2003) y se considera que dichas especies tienen demanda comercial y son sobreexplotadas, según Cordero y Boshier (2003).

Variables ambientales analizadas

Se determinó usar como variables ambientales la precipitación y la temperatura dado que son los únicos datos que se pueden obtener de la estación meteorológica ubicada en Puerto Cabezas. Esta información permitió comprobar las condiciones de homogeneidad necesarias para cumplir con el principio de selección del sitio (Fritts 1976). Los datos de la estación meteorológica ubicada en Puerto Cabezas (INETER 2015) se muestran en la *Fig. 1*.

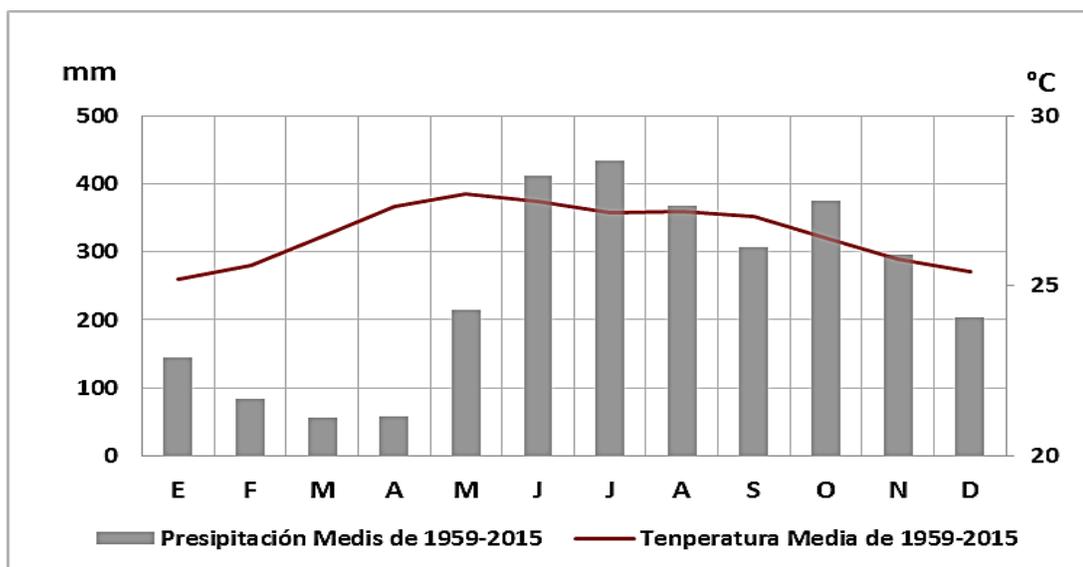


Fig. 1.- Precipitación y temperatura de 56 años, estación meteorológica en Puerto Cabezas, Nicaragua. Fuente: (INETER 2015)

El uso de la precipitación y la temperatura en esta investigación permite determinar la relación entre el crecimiento de los árboles y la variabilidad climática; en consecuencia, se realizaron análisis de correlaciones entre los índices de ancho de anillo IAA para cada especie y el clima. Los IAA son generados en el *software* ARSTAN y los datos de clima comprenden la P precipitación y °T temperatura que provienen de la estación meteorológica en Puerto Cabezas.

Las variables climáticas que se correlacionaron fueron la precipitación mensual, anual así como la temperatura mensual y la temperatura media anual, de igual forma, se agrupa estas variables climáticas en meses de temporada (seca o lluviosa) y de transición, esta clasificación está supeditada a la cantidad de milímetros mensuales por encima o debajo de los 100 mm. También se hicieron análisis de correlación entre las variables climáticas y el IAA del siguiente año. Estas correlaciones establecerán si hay injerencia del clima en el crecimiento; ver cuadro 1.

Forma de agrupar la precipitación y temperatura para estimación de correlaciones parciales				
	Precipitación "P"	Temperatura °T	Meses	
Temporada	Lluviosa > 100 mm	°T de temporada lluviosa	de mayo a enero	9 meses
	Seca < 100 mm	°T de temporada seca	de febrero a abril	3 meses
	Seco-Lluviosa	°T de temporada Seca-Lluviosa	de abril a mayo	2 meses
Transición	Lluviosa-Seco	°T de temporada Lluviosa-Seca	de enero a febrero	2 meses
	Lluvia Temprana	°T de transición Lluvia temprana	de mayo a agosto	4 meses
	Lluvia Tardía	°T de transición Lluvia tardía	de septiembre a enero	5 meses

Cuadro 1.- Clasificación de precipitación y temperatura que se usó para correlaciones con el IAA

Selección de individuos de las especies y toma de datos en campo

En las áreas de estudio se hicieron recorridos usando las trochas abiertas durante el inventario forestal; se identificaron los árboles de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*, usando la metodología de barrido para árboles dispersos de Gallego y Finegan (2004). A los árboles

seleccionados en campo se les asignó una etiqueta y se les tomaron datos como: DAP, altura, posición sociológica, forma de la copa, elevación a la que se encontraba, muestras de suelo usando el protocolo de suelos de Sesnie *et al.* (2009) y se le extrajeron dos núcleos o córtex usando un barreno Pressler de 10 mm. Se describe la colecta en el cuadro 2.

Especie	Comunidad	Núcleos	Árboles
<i>Swietenia macrophylla</i>	Layasiksa	36	18
<i>Carapa guianensis</i>	Layasiksa	44	22
<i>Carapa guianensis</i>	Butkus	40	20
Total		120	60

Cuadro 2.- Número de árboles encontrados durante el barrido en campo y número de núcleos extraídos.

Cada árbol fue georreferenciado y al mismo tiempo se determinó su elevación con un GPS; para las mediciones de DAP se usó una cinta diamétrica; para determinar la altura del árbol se hizo uso de un hipsómetro; se determina la posición sociológica y forma de copa. Se usa el criterio de Dawkins (1958). El protocolo de Sesnie *et al.* (2009) considera drenaje, profundidad del suelo, pendiente en porcentaje, textura del suelo superficial, pH del suelo, color del suelo, pedregosidad, contenido de materia orgánica y macro-nutriente. La obtención y la preparación de los núcleos se hace de acuerdo a los descrito por Villanueva *et al.* (2009).

Preparación de muestras y análisis en el laboratorio

Los núcleos fueron secados y llevados al laboratorio donde se montaron y lijaron. Posteriormente, con un escáner de alta resolución, se digitalizaron los núcleos. La medición de los anillos se hizo con el *software* Image-Pro Plus versión 4.0 para Windows, este procesa imágenes digitalizadas escaneadas.

Para sincronizar las mediciones de los núcleos (series) y establecer fechas calendario a las series cronológicas, primero se encontró el patrón de crecimiento graficándolo en *skeleton plot*; y como segundo paso se utilizó el *software* COFECHA para el control de calidad del fechado y medición, obteniendo la correlación entre anillos para cada serie de la misma especie; finalmente, las series sincronizadas se corren en el *software* ARSTAN para la estimación y la obtención de las cronologías o índices de ancho de anillo IAA, siendo estos los que se correlacionan con las variables climáticas.

La forma de modelar la relación edad/diámetro (crecimiento) fue a través de un ajuste a una función sigmoideal usando el diámetro como variable independiente (Schöngart *et al.*, 2007) (Imaña y Encinas 2008):

$$DAP = \frac{\alpha}{(1 + (b/edad)^c)}$$

Utilizando el *software* Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013) y su interface con R (Baayen 2007), se ajustaron los modelos para las dos especies y dado que el efecto del árbol inducía variabilidad en los modelos de efectos fijos, se incluyó el efecto del árbol como aleatorio, ajustando las funciones de crecimientos como un modelo no lineal de efectos mixtos (modelo no lineal mixto). La librería utilizó la función nlmer de la librería Lme4 (Bates *et al.* 2014). Los modelos no lineales mixtos que mejor se ajustan de acuerdo a comparación de sus AIC son descritos en el cuadro 3.

Función	Ecuación
Logística	$DAP = \alpha * \exp(-\beta * \exp(-\gamma * Edad))$
Gompertz	$DAP = \alpha / (1 + \beta * \exp(-\gamma * Edad))$

Cuadro 3.- Funciones usadas para modelar el crecimiento sigmoide de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*.

donde:

- alpha* = Valor asintótico de la variable que puede ser alcanzado
- beta* = Parámetro de posición en el tiempo de inicio del periodo
- gamma* = Tasa o constante de crecimiento
- Edad = tiempo
- Exp = exponente

Para determinar cuál de los modelos se ajusta adecuadamente a los datos, se usará el criterio de AIC. Una vez determinado cuál de los modelos se ajusta mejor, se modelarán los diámetros acumulados de cada especie, los cuales terminarán los periodos de aprovechamiento y turno de aprovechamiento.

Resultados

Swietenia macrophylla y *Carapa guianensis* presentan anillos de crecimiento bien definidos por las paredes de parénquima terminal, los que constituyen una características distintivas en cada especie, ver en la figura 2.

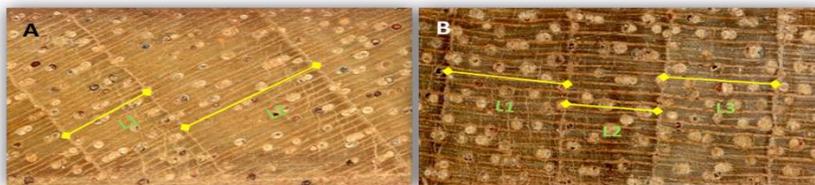


Fig. 2.- Imágenes macroscópicas de núcleos escaneados (14 mp de resolución) en muestras transversales medidas de **A** *Swietenia macrophylla*, **B** *Carapa guianensis*, ambas muestras exhiben la disposición de la medición del anillo de crecimiento, entre las paredes del parénquima terminal siguiendo la dirección de las fibras.

El control de calidad se hace por el programa COFECHA, el cual mediante un coeficiente de correlación de Pearson estima que la sincronización y anualidad que se hace en la medición de los anillos de crecimiento es correcta, lo cual se describe a continuación.

De los 120 núcleos analizados solamente se logró sincronizar 27 núcleos de 13 árboles de *Swietenia macrophylla* y 24 núcleos de 12 árboles *Carapa guianensis*.

Swietenia macrophylla sincronizada en el *software* COFECHA consta de 1182 anillos, con una correlación de Pearson de 0.305 al 99% de confianza y punto crítico a sobrepasar de 0.2997, con 27 series analizadas correspondiente a 13 árboles, se datan 74 años de 1940 a 2014 y una media de anillos medidos de 3.2 mm.

Carapa guianensis sincronizada en el *software* COFECHA consta de 1477 anillos, con una correlación de Pearson de 0.624 al 99% de confianza y punto crítico a sobrepasar de 0.2997, con 24 series analizadas correspondiente a 12 árboles, se datan 89 años de 1926 a 2014 y una media de anillos medidos de 3.1 mm.

Las muestras de *Carapa guianensis* de la comunidad de Layasiksa presentan anillos con dos y tres años en la sección del duramen, mientras que en la albura la formación de falsos anillos es más frecuente, no siendo posible su medición y análisis. En la *figura 3*, se puede observar la disposición de la madera y la formación de los anillos.



Fig. 3. Imagen transversal de la muestra Lay33-A de *Carapa guianensis* (14 mp de resolución), en la que se señala con flechas amarillas el parénquima terminal que define cada anillo. Las bandas con coloración más oscura representan la madera tardía y las claras la madera temprana; esta disposición de la madera temprana y tardía en un mismo anillo insta la idea de dos y tres años en un anillo de crecimiento.

El análisis de suelo realizados en los laboratorios de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de Managua en Nicaragua describen que los rangos y características de los suelos están dentro del parámetro que establece Cordero *et al.* (2003) para *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*. En resumen, los análisis describen los suelos ácidos con pH de 4.8 a 5.2; de textura franco arcillosa; con poco % de materia orgánica de 5%; siendo suelos muy superficiales de 18 cm en promedio.

Uso de modelos de crecimiento

Los incrementos diamétricos ajustados por el modelo sigmoide de Gompertz son lo que mejor se ajusta de acuerdo con el valor del AIC ante el modelo logístico, esto para ambas especies; ver en *figura 4*.

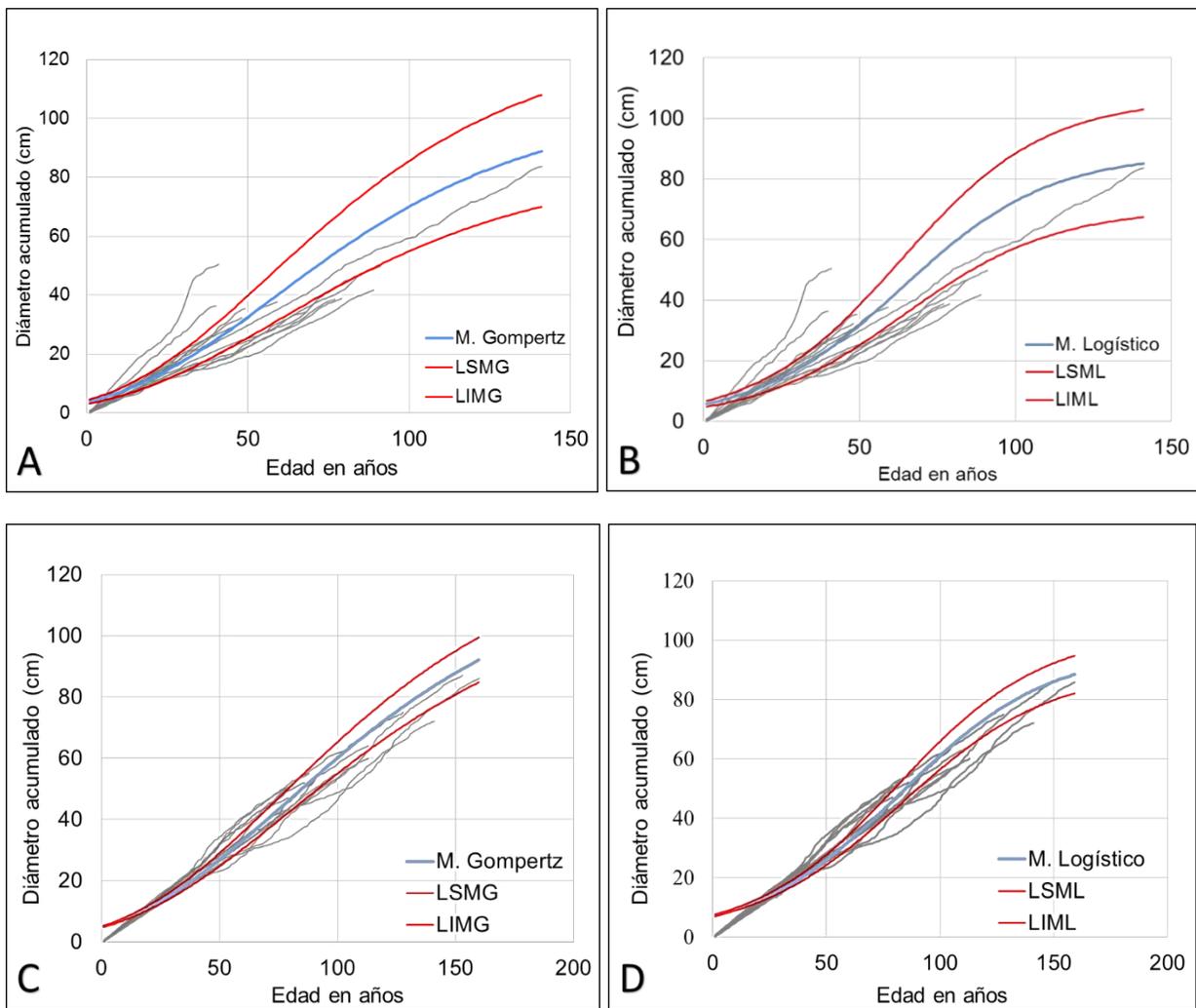


Fig. 4.- Modelación sigmoide **A** Gompertz y **B** logístico de la especie de *Swietenia macrophylla*, **C** Gompertz y **D** logístico de *Carapa guianensis*; en azul la modelación de los DAP, en rojo los intervalos de confianza como límite superior o inferior del modelo y en gris los árboles que se están modelando.

Los incrementos diamétricos ajustados por el modelo sigmoide de Gompertz permiten derivar el incremento corriente anual ICA e incremento medio anual IMA en las dos especies. El ICA es el resultado de la diferencia de incremento diamétrico anual del primer año con respecto al segundo año; el IMA es la posición media del crecimiento diamétrico en los diferentes intervalos de edad.

El propósito de modelar los DAP acumulados junto con el IMA y el ICA es establecer el turno biológico del árbol o los árboles y su periodo de aprovechamiento. En la *figura 5* se muestra el DAP acumulado del modelo sigmoide Gompertz junto con el ICA y el IMA.

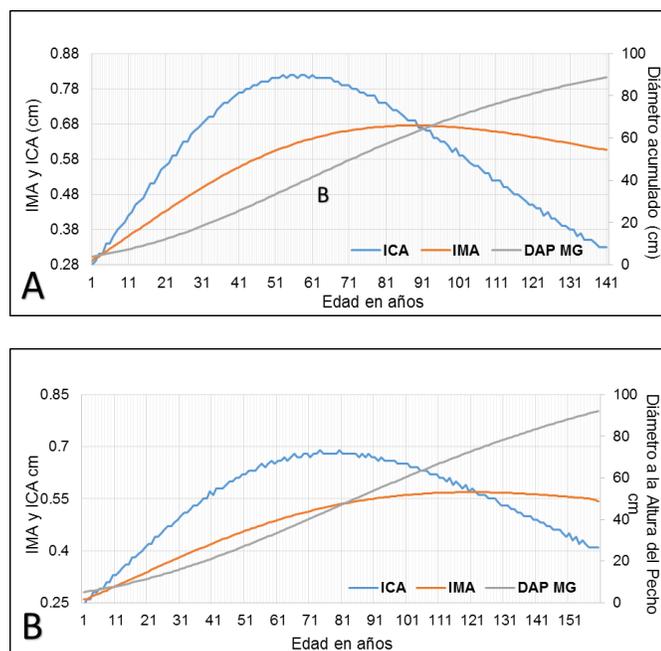


Fig. 5.- Modelos de crecimiento de *Swietenia macrophylla* **A** y *Carapa guianensis* **B** con estimación y modelación del ICA e IMA y el DAP modelado.

Estimación de los turnos de corta

Considerando los modelos de crecimiento como herramienta que explica y proyecta el tiempo en años necesarios para que el árbol alcance el diámetro óptimo de aprovechamiento, se fijan los turnos biológicos y periodos de aprovechamiento.

- El turno al DMC que establece la ley nicaragüense en la NTON 18-001-12 (2013) para *Swietenia macrophylla* es a los 50 cm de DAP, el cual alcanza a los 71 años de acuerdo con el modelo, cuando su IMA es de 0.66 cm por año.
- El turno biológico propuesto por Imaña y Encinas (2008) donde ocurre la intersección del ICA y IMA modelado para *Swietenia macrophylla* es de 89 años, el cual tiene un DAP de 63 cm y su IMA es de 0.66 cm por año.
- El turno biológico de acuerdo con lo propuesto por Schöngart (2008) donde se encuentra que el ICA máximo modelado en *Swietenia macrophylla* es a los 61 años; donde el DAP es de solamente 41 cm, cuando su IMA es 0.63 cm por año.
- El turno al DMC que establece la ley nicaragüense en la NTON 18-001-12 (2013) para *Carapa guianensis* es a los 40 cm de DAP, el cual alcanza a los 70 años de acuerdo con el modelo, cuando su IMA es de 0.5 cm por año.
- El turno biológico propuesto por Imaña y Encinas (2008) donde ocurre la intersección del ICA y IMA modelado para *Carapa guianensis* es de 124 años, el cual tiene un DAP de 73 cm y su IMA es de 0.56 cm por año.
- El turno biológico de acuerdo a lo propuesto por Schöngart (2008) donde se encuentra ICA máximo modelado en *Carapa guianensis* es a los 80 años; donde el DAP es de solo 48 cm; cuando su IMA es 0.53 cm por año. Los turnos biológicos se describen en la *figura 6*.

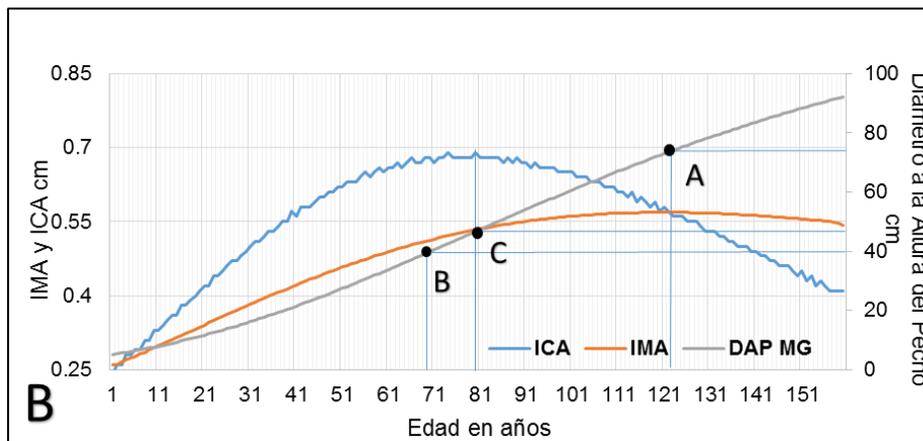
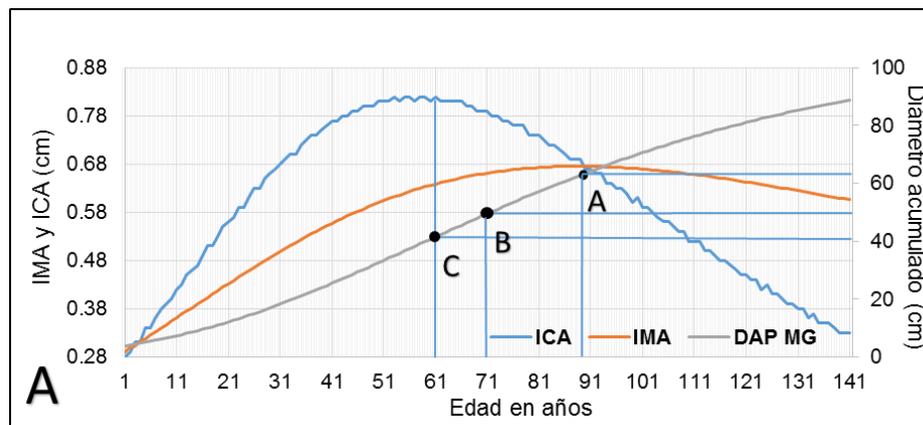
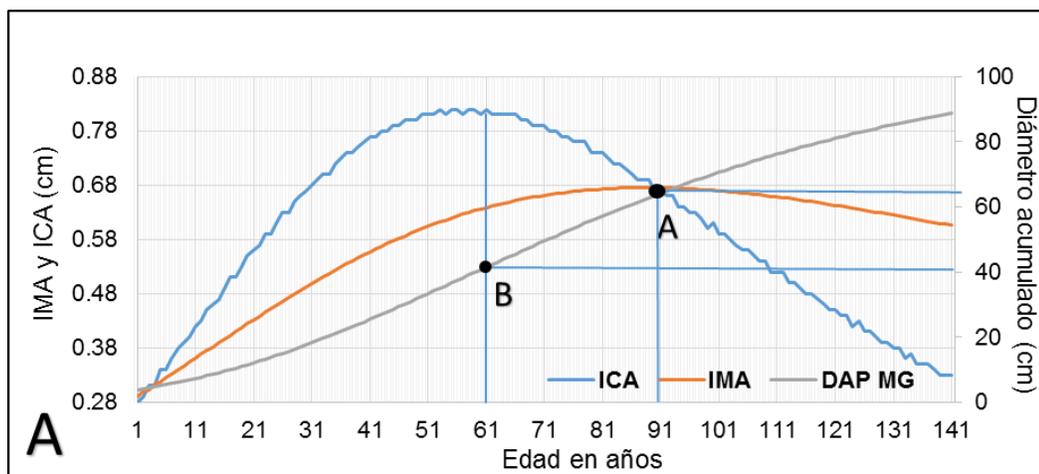


Fig.6.- Turnos biológicos, A *Swietenia macrophylla* y B *Carapa guianensis*; donde A es el turno biológico que propone Imaña y Encinas (2008), B el turno al DMC establecido por la NTON 18-001-12 (2013) y C el propuesto por Schöngart (2008).

De acuerdo con Schöngart (2008), el periodo de aprovechamiento se establece entre los valores máximos del ICA e IMA; el modelo determina un periodo de aprovechamiento en *Swietenia macrophylla* de 61 y 89 años, tiempo en el que el árbol tendría un DAP de 40 a 65 cm. Lo modelado en *Carapa guianensis* describe el periodo del aprovechamiento entre los 80 a 122 años en donde el árbol alcanza un DAP de 46 a 75 cm. Los periodos de aprovechamiento de describen en la *figura 7*.



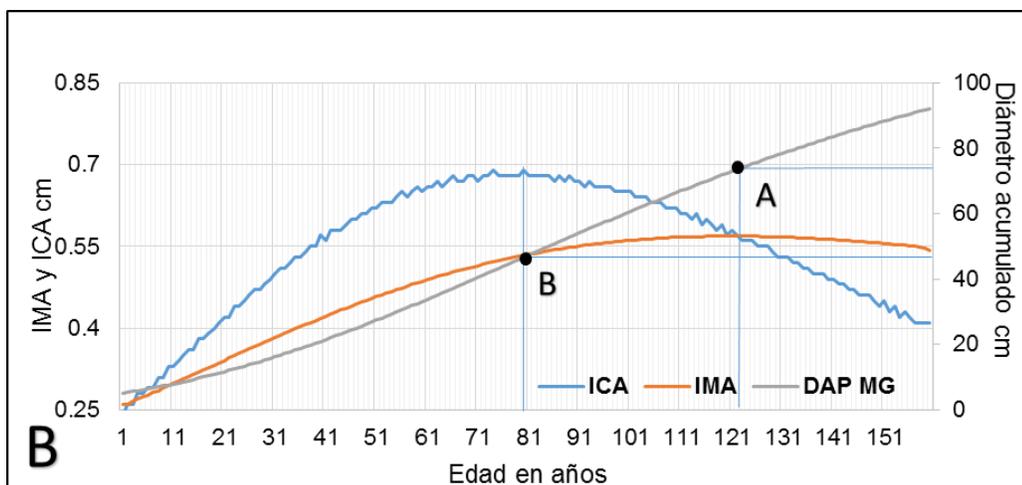


Fig. 7.- Periodos de aprovechamiento, **A** *Swietenia macrophylla* y **B** *Carapa guianensis*; donde A es el punto donde el IMA alcanza su máximo valor y B el punto donde el ICA alcanza su máximo valor; propuesto por Schöngart (2008).

Relación del índice de ancho de anillo y las variables climáticas

El análisis correlacionó el IAA de *Swietenia macrophylla* y la precipitación anual y mensual; la precipitación en función de la temporada (seca, lluviosa) y de transición mostraron no ser significativas; igualmente, se hicieron correlaciones entre el IAA y la temperatura mensual, la temperatura media anual y la clasificación de temperatura agrupando en función temporada (seca o lluviosa) y de transición (ver en *cuadro 1*); las cuales no fueron significativas (ver en *figura 8*).

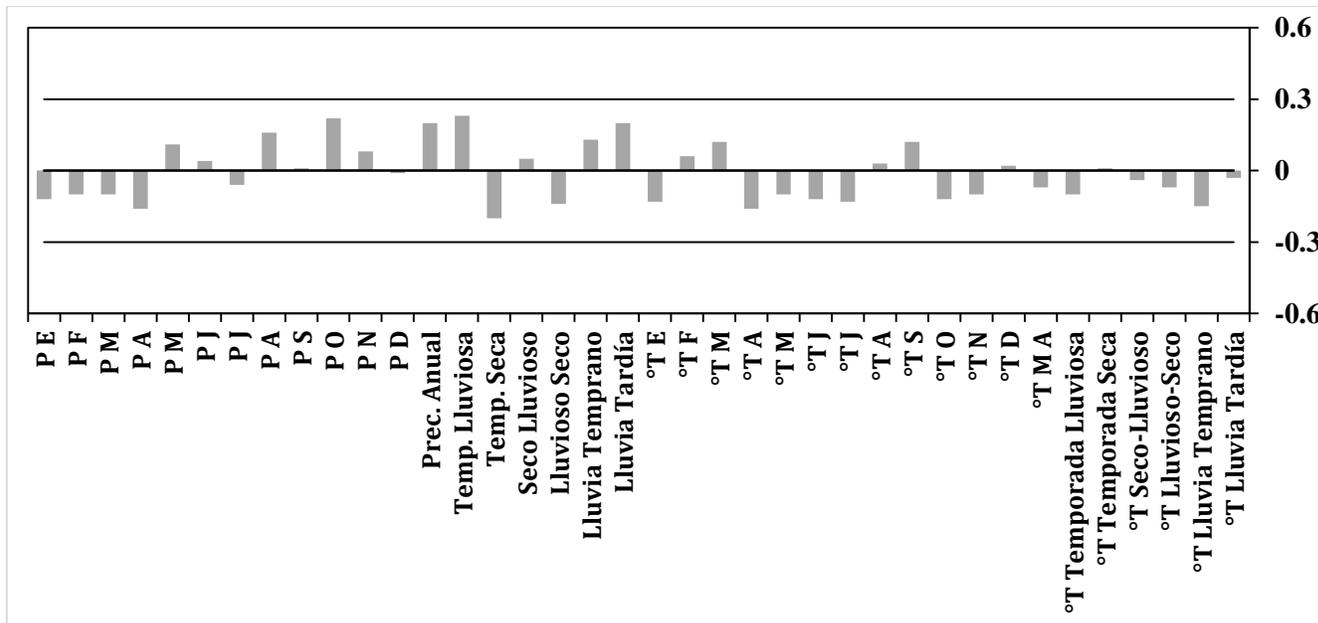


Fig. 8.- Análisis de correlación de Pearson entre el índice de ancho de anillo de *Swietenia macrophylla* y las variables climáticas (precipitación P, temperatura °T). Donde el eje Y indica el valor del coeficiente de correlación Pearson y el eje X describe con barras el valor de la correlación alcanzados por cada variable, las líneas horizontales paralelas al eje central de color gris indican el valor donde las correlaciones alcanzarían la significancia de un $\alpha=0.05$.

Al correlacionar el IAA de *Carapa guianensis* con la precipitación anual, mensual y la clasificación de temporadas, no se hallaron correlaciones significativas. Posteriormente, se hicieron correlaciones con la temperatura mensual, temperatura media anual y la clasificación por temporadas, obteniendo una correlación significativa para noviembre. El resumen de los análisis de correlaciones se observa en la *figura 9*.

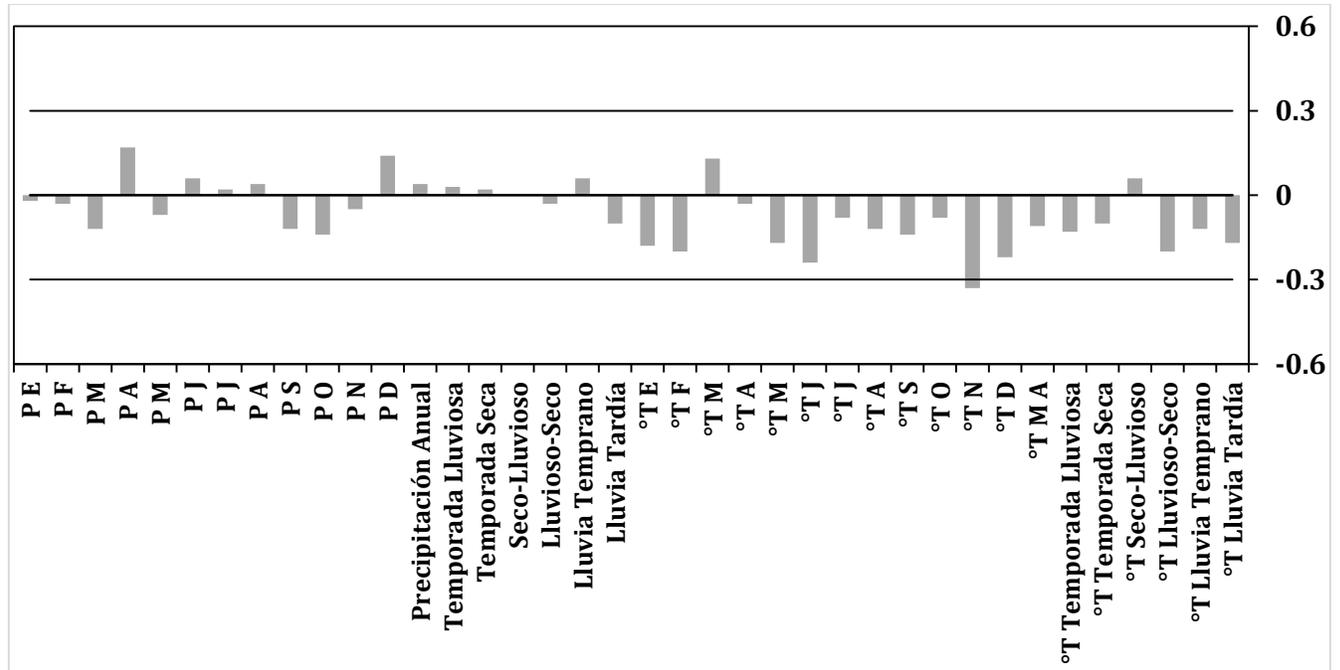


Fig.9.- Análisis de correlación de Pearson entre el índice de ancho de anillo de *Carapa guianensis* y las variables climáticas (precipitación **P**, temperatura **°T**), con correlaciones significativas en la temperatura de noviembre. Donde el eje Y indica el valor del coeficiente de correlación Pearson y el eje X describe con barras el valor de la correlación alcanzados por cada variable, las líneas horizontales paralelas al eje central de color gris indican el valor, donde las correlaciones alcanzarían la significancia de un $\alpha=0.05$.

Adicionalmente, se hicieron correlaciones entre el IAA que se formaba un año después y las variables de precipitación y temperatura, con la finalidad de determinar si se alteraba la formación del anillo el año subsecuente; el resultado fue que en general no se tienen analogías significativas.

Discusión

Anualidad en los anillos de crecimiento

Los resultados obtenidos durante el análisis de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* confirman la anualidad en sus anillos de crecimiento, propuesto por Dünisch *et al.* (2003); sin embargo, se obtuvieron muestras de *Carapa guianensis* que sugirieron que la anualidad de los anillos es una condición subordinada a las condiciones del sitio en las que se encuentra el árbol como lo propusieron Devall *et al.* (1995), Bauch y Dünisch (2000) y Roig y Zevallos Pollito (2009).

El análisis de los anillos de crecimiento en *Swietenia macrophylla* establece que el incremento medio anual IMA en promedio de la especie es de 5.8 mm por año; semejante a lo propuesto por Grogan *et al.* (2014) quien reporta que el IMA para esta especie en bosques primarios en Brasil es de 5.7 mm por año. El MAGFOR (2015) describe un IMA en *Swietenia macrophylla* de 4 mm y estudios en parcela permanentes en Peten, Guatemala, establecen el IMA en 4 mm CONAP (2012).

Como es de esperar en bosques tropicales densos el rango de variación de IMA entre árboles es amplio (Finegan *et al.* 1999) En el presente estudio, el árbol 19 de la comunidad de Layasiksa presentó un IMA de 8 mm, debido a que es un árbol joven de 25 a 30 años; Grogan *et al.* (2014) lo describen como crecimiento típico para esta especie durante este periodo. Es probable que también el árbol en mención esté bajo la influencia de factores ecológico diferentes como lo sugiere Fritts (1976) refiriéndose a la amplitud ecológica del rodal.

El análisis de los anillos de crecimiento en *Carapa guianensis* presenta un IMA en promedio de 4.8 mm por año, diferente a lo que Finegan *et al.* (1999) reporta para bosques muy húmedos en Costa Rica de 2-3 mm por año en parcelas permanentes; Bernal (2013), que usa mediciones de anillos, informa de IMA de 2.8 mm por año; mientras MARENA/ INAFOR (2002) en Nicaragua describen un IMA para *Carapa guianensis* de 4.8 mm por año registrado en las parcelas experimentales de la Universidad Centroamericana; siendo esta última la que más se asemeja al IMA modelado en esta investigación.

Periodos del aprovechamiento en función del turno biológico

La modelación de los patrones de incremento diamétrico de las dos especies de estudio describe y establece el incremento medio anual IMA y el aumento de corriente anual ICA; estos a su vez permiten fijar el periodo de aprovechamiento que determina la fase óptima del crecimiento (Schögart 2008); siendo entre el IMA máximo y el ICA máximo. La modelación de *Swietenia macrophylla* establece que entre los 61 y 89 años alcanzan un DAP aproximado de 40 a 65 cm. En función del modelado *Swietenia macrophylla*, alcanza su turno biológico a los 71 años donde la NTON (2013) establece el DMC a los 50 cm de DAP.

La modelación del IMA y ICA máximo en *Carapa guianensis* describe un periodo de aprovechamiento entre los 80 y 122 años, en donde el árbol tendría entre 40 a 75 cm de DAP; alcanzando el DMC de 40 cm de DAP que establece la ley en la NTON (2013) a los 71 años.

Este periodo de aprovechamiento modelado y propuesto para *Swietenia macrophylla* no coincide con el ciclo de corta establecido en la estrategia para el desarrollo de plantaciones forestales y agroforestales en el trópico húmedo de Nicaragua MAGFOR (2015) o el establecido por lo modelado por Grogan *et al.* (2014) quienes señalan un periodo de aprovechamiento para *Swietenia macrophylla* de 60 años. Pero concuerda con las estimaciones de aprovechamiento en función del DMC y el turno biológico indistinto de las especies descritas por el CONAP (2012). Shono y Snook (2006) registran IMA de 1 cm por año en *Swietenia macrophylla* en los bosques naturales de Belice, viéndose una mínima diferencia con la presente investigación.

El periodo de aprovechamiento modelado y propuesto para *Carapa guianensis* es de 80 a 122 años, el cual es similar al señalado por CONAP (2012); pero difiere del establecido por Estrategia para el desarrollo de plantaciones forestales y agroforestales en el trópico húmedo de Nicaragua MAGFOR (2015), ya que establece ciclos de aprovechamiento de 60 años cuando registra IMA de 1.5 cm por año; siendo 20 años menos de lo que predice el modelo para que alcance el DMC de 40 cm de DAP.

Relaciones del crecimiento de los árboles con el suelo

Las muestras de suelo obtenidas en las inmediaciones de los árboles de *Swietenia macrophylla* muestran parámetros semejantes a los descritos por Barrance *et al.* (2003) para la especie, como un pH ácido, macro-micro nutrientes acordes y propios de suelos ultisoles en un horizonte A, siendo suelos franco arcillosos pobres y poco profundos descritos por Herrera *et al.* (2010). De igual forma, las muestra de suelo de *Carapa guianensis* describen sustrato con pH ácido y con parámetros de macro-micro nutrientes muy semejantes a los que presentan los suelos de *Swietenia macrophylla*, con muy poco porcentaje de materia orgánica, siendo suelos poco profundos. En general, no se observan condiciones físico-mecánicas diferentes que pudiera estar influyendo en el crecimiento de nuestras especies (Salas 1993).

Relaciones del crecimiento de los árboles con el clima

Las condiciones climáticas en Layasiksa y Butku son semejantes; ambos sitios tienen una temperatura media anual de 26 °C conforme a la que describe Barrance *et al.* (2003) para las áreas donde se distribuyen ambas especies; estos datos fueron corroborados con los datos de INTER (2015). La precipitación de los últimos 56 años está entre los 2777 mm y los 3807 mm anuales INETER (2015); concuerda con lo descrito por Rozendaal y Zuidema (2011) y Grogan *et al.* (2014) en sus estudios para *Swietenia macrophylla* y dentro del rango para *Carapa guianensis* descrito por Barrance *et al.* (2003).

Se sabe que la precipitación puede ser un factor limitante en el crecimiento para esta especie, según lo propuesto Rozendaal y Zuidema (2011) en *Swietenia macrophylla* y de igual forma para *Carapa guianensis* descrito por Bernal (2013), pero en general no se encontró correlaciones significativas que apoyen la existencia de una injerencia en el incremento diamétrico de los árboles por la precipitación o temperatura.

Consideraciones para un sistema silvicultural policíclico

Dada la evidente diferencia en tamaños y edad de los árboles muestreados se conociera un sistema policíclico que establezca la selección de árboles maduros; donde en un bosque bajo manejo se aprovechan los árboles con diámetros iguales o superiores al DMC y se deja los árboles inmaduros que constituirán las cosechas futuras (Gordon y Finegan 2003).

Fundamentando en datos de los modelos de crecimiento de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*, se propone el sistema silvicultural policíclico donde se establezca el ciclo de corta CC en relación con el área basal, ejemplificado de la siguiente forma:

- Asumiendo que en una hectárea de bosque natural se tienen tres árboles a, b y c de *Swietenia macrophylla* con DAP de a=50 cm, b=40 y c=30. El DMC fijado por la ley para esta especie es de 50cm de DAP. En el aprovechamiento, se corta el árbol a, dejándose el b y c para futuras cosechas ¿cuánto tiempo tardarán los árboles de futuras cosechas b y c para que alcancen el DMC? El modelo desarrollado en la presente tesis muestra con un IMA de 0.64 cm/año para la clase diamétrica de

40 a 50 cm de DAP y 0.60 cm/año para la clase diamétrica de 30 a 40 cm de DAP. Para fines del presente ejercicio, se propone hacer una proyección simple con un IMA de 0.62 cm por año.

El tiempo en años para alcanzar el DMC se obtiene al despejar la diferencia de DMC que necesita alcanzar el árbol b desde el DAP, actual dividido por el IMA de ese periodo; durante este tiempo, el árbol c logra alcanzar un DAP semejante al del árbol b considerando el IMA de su clase diamétrica; quedando:

$$\text{CC en años} = \frac{\text{DAP al DMC} - \text{DAP actual del árbol b}}{\text{IMA de la clase diamétrica}}$$

Producto de sustituir los valores en las ecuaciones, se obtiene un CC de 16 años para el árbol b y 32 años para el árbol c.

- Si se considerara este mismo ejercicio para la especie *Carapa guianensis* con el mismo número de individuos por hectárea e iguales DAP, en este caso, el aprovechamiento tomaría 2 árboles; debido al DMC para esta especie de árbol c, ¿Cuánto tiempo le tomará alcanzar el DMC?; cuando el IMA para la clase diamétrica de 30 a 40 cm es de 0.49 cm por año.

Se obtiene un CC para el árbol c de 20 años; tiempo en el que alcanza el DMC.

Conclusiones

En la zona de estudio, *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* exhiben anillos de crecimiento anuales, facilitando el desarrollo de modelos de crecimiento diamétrico y su relación con la edad del árbol como base para una mejor planificación del manejo forestal.

Los modelos desarrollados demuestran discrepancias entre los turnos de rotación calculados con base en criterios biológicos y los turnos que corresponden a los diámetros mínimos de corta establecidos por normas técnicas. Es notorio que el diámetro mínimo de corta DMC de 40 cm determinado por las normas técnicas nicaragüenses para *Carapa guianensis*, es inferior a los diámetros considerados aprovechables por criterios biológicos. Por otra parte, el DMC de 50 para *Swietenia macrophylla* está dentro del rango considerado biológicamente deseable.

La variación de la precipitación y la temperatura en la zona de estudio no influyen en el crecimiento diamétrico de las dos especies, probablemente debido a la corta duración del periodo anual seco.

Recomendaciones

Se recomienda realizar una actualización de las normas técnicas que utiliza el Gobierno nicaragüense, para fundamentar los criterios para el aprovechamiento de estas dos especies en determinaciones rigurosas de tasas de crecimiento como las que provee el presente estudio.

Se deben de desarrollar directrices y lineamientos actualizados para el manejo sostenible de estos bosques comunitarios aplicando un sistema silvicultural policíclico con proyecciones de ciclos de corta basadas en los modelos de crecimiento elaborados por el presente estudio.

Para permitir una mejor planificación del aprovechamiento de las dos especies de estudio dentro del mencionado contexto de sistema silvicultural, los censos comerciales deben muestrear y georreferenciar árboles de futura cosecha, preferiblemente con DAP > 30 cm. Estos datos juntos con los IMA modelados en el presente estudio, permitirán proyecciones más acertadas de los volúmenes aprovechables de las dos especies en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá Martínez, R.E. 2011. Ecología, genética y conservación de la caoba (*Swietenia macrophylla*): herramientas para un manejo adaptativo de la selva Maya de Quintana Roo, México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. In. 2011. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. FQ006. México, D.F., Universidad Autónoma de del Estado de Morelos. p. Consultado 19 Ags 2014. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfFQ006.pdf>
- Amoroso, M.; Suárez, M.L. 2015. La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Revista Ecosistemas* (2): 1-6. Consultado 03 Oct. 2015. Disponible en <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1105>
- Atienza Vanaclouig; Luis, V. 2011. El tamaño de una imagen digital. Valencia Universidad Politécnica de Valencia Consultado 20 Sep. 2015. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/12710>
- Baayen, R.H. 2007. The language R package. Available on-line at URL: <http://cran.r-project.org/doc/packages/languageR.pdf>.
- Barrance, A.; Cordero, J.; Boshier, D.; Enseñanza, C.A.T.d.I.y. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Bib. Orton IICA/CATIE. Consultado 17 Sep 2014. Disponible en <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=q-0NAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Carapa+guianensis/+Cordero&ots=Esc1jaieiz&sig=TJHY3C9F8TGWL3kWH6sPct5nPr8#v=onepage&q=Carapa%20guianensis%2F%20Cordero&f=false>
- Bates, D.; Mächler, M.; Bolker, B.; Walker, S. 2014. Fitting linear mixed-effects models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823.
- Bauch, J.; Dünisch, O. 2000. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation-grown and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia. *Iawa Journal* (3): 321-333. Consultado 03 de Agos. 2015. Disponible en <http://www.researchgate.net/publication/255531774>
- Beddome, R.H. 1972. *Icones Plantarum Indiae Orientalis Or Plates and Descriptions of New and Rare Plants from Southern India and Ceylon. Today and Tomorrow.* Consultado 02 Ags. 2014. Disponible en <http://books.google.co.cr/books?id=7F4qtwAACAAJ>
- Bernal, M. 2013. Estudio dendroecológico de la dinámica forestal en un gradiente altitudinal tropical M.Sc. Manejo y conservación de bosques tropicales y biodiversidad Turrialba, Cartago, Costa Rica., CATIE. 102 p. Consultado 20 Jil 2014.

- Brienen, R.J.; Zuidema, P.A. 2006a. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of ecology* (2): 481-493. Consultado 30 Oct. 2015.
- _____. 2006b. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* (1): 256-267. Consultado 03 Sep. 2015. Disponible en http://www.researchgate.net/profile/Roel_Brienen/publication/46678982_The_use_of_tree_rings_in_tropical_forest_management_Projecting_timber_yields_of_four_Bolivian_tree_species/links/0c96053220862b6f80000000.pdf
- Brienen, R.J.; Wanek, W.; Hietz, P. 2011. Stable carbon isotopes in tree rings indicate improved water use efficiency and drought responses of a tropical dry forest tree species. *Trees* (1): 103-113. Consultado 10 Nov 2014. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/s00468-010-0474-1>
- Brienen, R.J.W. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. Utrecht University. Consultado 10 Ago. 2015. Disponible en <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/7330>
- Cancino, J.O. 2012. Dendrometría básica. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Consultado 02 Sep 2014. Disponible en <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/123456789/407>
- Clark, D.A.; Clark, D.B. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. *Ecological applications* (3): 981-997. Consultado 03 Nov 2014. Disponible en <http://www.umsl.edu/~biology/files/pdfs/dave-clark/1999%20Clarkand%20ClarkEcolApps.pdf>
- Clark, D.A.; Piper, S.; Keeling, C.; Clark, D.B. 2003. Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984–2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (10): 5852-5857. Consultado 13 Nov 2014. Disponible en <http://www.pnas.org/content/100/10/5852.full.pdf+html>
- Clark, D.A. 2004. Tropical forests and global warming: slowing it down or speeding it up? *Frontiers in Ecology and the Environment* (2): 73-80. Consultado 08 Nov 2014. Disponible en <http://faculty.washington.edu/timbillo/Readings%20and%20documents/CO2%20and%20Forests%20readings/Bush%20School%20Readings/Clark%202004%20Frontiers%20Trop%20forests%20%20glob%20warming1.pdf>
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala). Manuales No. 03(01-2012). Manual para la administración forestal. Guatemala. 2012. Consultado 25 de Oct. 2015. Disponible en www.conap.gob.gt/.../conap.../departamento-de...forestal/tramites-forestal.h...
- Constante García, V.; Villanueva Díaz, J.; Cerano Paredes, J.; Estrada Ávalos, J. 2009. Medición y calidad de fechado en anillos de árboles. Gómez Palacio, Durango, México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. (Folleto Técnico 14). Consultado 01 Agost. 2014.
- Cook, E.R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Consultado 09 de Nov 2014. Disponible en <http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/261788/1/trb-47-037-059.pdf>
- Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Springer. 394 p. Consultado 12 Oct 2014.
- Cook, E.R. 1992. A conceptual linear aggregate model for tree rings. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. 2nd ed. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 394 p. (*Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*) Consultado 10 Nov 2014.
- Cook, E.R.; Briffa, K.; Shiyatov, S.; Mazepa, V. 1992. Tree-ring standardization and growth-trend estimation. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

- 394 p. (Methods of Dendrochronology Applications in the environmental sciences)
Consultado 10 Nov 2013.
- Cordero, J.; Boshier, D. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Instituto Forestal de Oxford y Centro Agronómico Tropical para la Investigación y la Enseñanza. Oxford. (*Swietenia macrophylla*. *Carapa guianensis*.) Consultado 11 Ags 2014. Disponible en www.herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/.../swietenia_macrophylla.pdf
- Cordero, J.; Boshier, D.; Barrance, A.; Enseñanza, C.A.T.d.I.y. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Coredero, J ed. Oxford Forestry Institute Great Britain. Forestry Research Programme, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1079 p. Consultado 10 May 2014. Disponible en <http://books.google.es/books?id=q-0NAQAIAAJ>
- Cruz Johnson, P.; Honeyman Lucchini, P.; Pezo Correa, A.; Schulze del Canto, C. 2007. Análisis de crecimiento de árboles maduros de lenga (*Nothofagus pumilio*) en bosques de la XII Región, Chile. Bosque (Valdivia) (1): 18-24. Consultado 30 de Oct. 2015. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002007000100004
- Cybernetics, M. 2005. Image-Pro Plus, Version 6.0 for Windows. Start-Up Guide. Media Cybernetics, Inc. Consultado 12 de Sep. 2015. Disponible en <http://web.uvic.ca/ail/techniques/IPPStartUp.pdf>
- Dawkins, H.C. 1958. The management of natural tropical high-forest with special reference to Uganda. Inglaterra, Imperial Forestry Institute, University of Oxford. Consultado 13 de Nov. 2015.
- Delgado, D.; Finegan, B. 1999. Biodiversidad vegetal en bosques manejados. Revista Forestal Centroamericana: 14-20. Consultado 03 Feb 2015. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=069448>
- Devall, M.S.; Parresol, B.R.; Wright, S.J. 1995. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in central Panama. Iawa Journal (4): 411-424. Consultado 07 de Jul. 2014.
- Dezseo, N.; Worbes, M.; Ishii, I.; Herrera, R. 2003. Annual tree rings revealed by radiocarbon dating in seasonally flooded forest of the Mapipe River, a tributary of the lower Orinoco River, Venezuela. Plant Ecology (1): 165-175. Consultado 7 de Jul. 2014.
- Dünisch, O.; Montóia, V.R.; Bauch, J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L.(Meliaceae) in the central Amazon. Trees (3): 244-250. Consultado 03 Sep. 2014.
- Finegan, B.; Camacho, M.; Zamora, N. 1999. Diameter increment patterns among 106 tree species in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest. Forest Ecology and Management (3): 159-176. Consultado 18 de Sep. 2015. Disponible en <http://www.sidalc.net/repdoc/A6391i/A6391i.pdf>
- Fritts, H.C. 1963. Computer programs for tree-ring research. Consultado 11 Nov 2014. Disponible en <https://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/259363/1/trb-25-03-04-002-007.pdf>
- Fritts, H.C.; Lofgren, G.R.; Gordon, G.A. 1979. Variations in climate since 1602 as reconstructed from tree rings. Quaternary Research (1): 18-46. Consultado 11 Nov 2014. Disponible en http://treeringsociety.org/TRBTRR/TRBvol39_29-38.pdf
- Gallego, B.; Finegan, B. 2004. Evaluación de enfoques para la definición de especies arbóreas indicadoras para el monitoreo de la biodiversidad en un paisaje fragmentado del Corredor Biológico Mesoamericano. Recursos Naturales y Ambiente (CATIE). Mar 2004. (41): 49-

61. Consultado 04 Dic 2014. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=OET.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf n=032725>
- García González , I.; García Rodríguez , L.; Díaz Vizcaino, E. 2001. Empleo de un Escáner de Sobremesa para la Medición Manual de Anillos de Crecimiento. Congreso Forestal Español. Consultado 28 Oct. 2013. Disponible en <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/3CFE01-071.pdf>
- Ghazoul, J.; Sheil, D.; Ghazoul, J.; Ghazoul, J. 2010. Tropical rain forest ecology, diversity, and conservation. Oxford University Press Oxford. Consultado 09 Nov 2014.
- Gordon, J.; Finegan, B. 2003. Árboles de Centroamérica. Bib. Orton IICA/CATIE. 46 p. (El manejo del bosque natural: una opción atractiva para el productor de recursos limitados) Consultado 02 Dic. 2015.
- Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA.
- Grogan, J.; Landis, R.M.; Free, C.M.; Schulze, M.D.; Lentini, M.; Ashton, M.S. 2014. Big-leaf mahogany *Swietenia macrophylla* population dynamics and implications for sustainable management. *Journal of applied ecology* (3): 664-674. Consultado 23 de Nov. 2015. Disponible en <http://www.itto.int/files/user/cites/brazil/Article%20June%20issue%202014%20Journal%20of%20Applies%20Ecology.pdf>
- Guillén Vallejos, J. 2006. Estudio sobre la situación de la caoba (*Swietenia macrophylla*) en Mesoamérica. Informe de Nicaragua. Fauna & Flora Internationala. Consultado 18 Ags 2014. Disponible en <http://globaltrees.org/wp-content/uploads/2008/07/MahoganyReportSpanish.pdf>
- Günter, S.; Stimm, B.; Cabrera, M.; Diaz, M.L.; Lojan, M.; Ordonez, E.; Richter, M.; Weber, M. 2008. Tree phenology in montane forests of southern Ecuador can be explained by precipitation, radiation and photoperiodic control. *Journal of Tropical Ecology* (03): 247-258. Consultado 11 Nov 2014. Disponible en <http://www.pnas.org/content/96/24/13869.short>
- Havel, J. 1980. Application of fundamental synecological knowledge to practical problems in forest management: I. Theory and methods. *Forest Ecology and Management*: 1-29. Consultado 13 Nov 2014. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037811278090002X>
- Hernández, L.; Williams, J. 2009. Anatomía de la madera y clave de identificación para especies forestales vedadas en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* (053): 51-62. Consultado 22 de Oct. 2015. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/30840/1/articulo5.pdf>
- Herrera, B.; Alvarado, A. 1998. Calidad del sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. *Agronomía Costaricense* (1): 99-117. Consultado 10 Nov 2014. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v22n01_099.pdf
- Herrera, B.; Morales, J.; Rodríguez, J. 2010. Nicaragua. Uso Potencial de la Tierra. Compendio de mapas. Managua, Nicaragua. Disponible en <http://www.magfor.gob.ni/descargas/publicaciones/mapas/CompendioMapas.pdf>
- Hillam, J. 1997. Dendrochronology: guidelines on producing and interpreting dendrochronological dates. Consultado 24 Jul 2014. Disponible en www.english-heritage.org.uk/publications/dendrochronology-guidelines/

- Holdridge, L.R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Agroamérica. Consultado 22 de Sep 2014. Disponible en http://antioquia.gov.co/Agricultura/Mapas/LIBRO_ZONIFICACION_2011/INFORMACION%20BASICA%20PARA%20LA%20ZONIFICACION/Zonas_de_Vida.pdf
- Holmes, R. 2004. Dendrochronology Program Library Version 6.06P. Consultado 01 Agust. 2014. Disponible en <http://lrr.arizona.edu/research/software>
- Huerta, P.; Lombardi, I.; Barrena, V.; Cuba, K. 2003. Brigadas de Caracterización. Consultado 19. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/proyectocaoba/A5-Instructivo%20de%20Campo%20-%20Brigadas%20de%20Caracterizaci%C3%B3n%20-%20ITTO-CAOBA.pdf>
- Imaña, J.; Encinas, O. 2008. Epidometría Forestal. Brasilia, Brasil
- Universidad de Brasilia-Universidad de Los Andes Venezuela. 65 p. Consultado 14 Oct. 2015. Disponible en http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf
- INAFOR, (Instituto Nacional Forestal,, Nicaragua) 2007. Evaluación de daños al ecosistema forestal ocasionados por el huracán Félix. Managua, Nicaragua. Disponible en http://www.inafor.gob.ni/publica/search_result.html?search_phrase=Evaluaci%C3%B3n+de+Da%C3%B1os+Causados+por+el+Hurac%C3%A1n+F%C3%A9lix+en+el+Caribe+de+Nicaragua.&catid=0&ordering=newest&search_mode=any&search_where%5B%5D=search_name&search_where%5B%5D=search_description
- INETER, (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2015. Datos Meteorológicos de la Puesto Cabezas Nicaragua. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/>
- Jiménez, J.A.G. 2011. Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. Colombia Forestal (1): 15. Consultado 10 Ags 2014. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3554>
- Kaennel, M.; Schweingruber, F.H. 1995. Multilingual glossary of dendrochronology. Consultado 25 Oct 2014.
- Lieberman, D.; Lieberman, M.; Hartshorn, G.; Peralta, R. 1985. Growth rates and age-size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. Journal of Tropical Ecology (02): 97-109. Consultado 02 Nov 2014.
- López, L.; Villalba, R.; Bravo, F. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. Forest Ecology and Management: 49-55. Consultado 30 de Oct. 2015.
- Lugo, J.; Inbar, M. 2002. Desastres naturales en América latina. FCE, México, DF. Consultado 03 Feb 2015. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ORTON.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=081771>
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y forestal, Nicaragua). NTON 18001-04 "Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el uso sostenible del recurso forestal maderable de Nicaragua". Compendio jurídico forestal de Nicaragua Nicaragua. 2006. Consultado 01 de Nov. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/forestry/13806-04752cabe742ac969152bd5d193f62b4a.pdf>
- _____. 2015. Estrategia para el Desarrollo de Plantaciones Forestales y Agroforestales en el Tropic Humedo de Nicaragua. Managua. Disponible en <http://www.magfor.gob.ni/descargas/estudios/Manual%20para%20el%20establecimiento%20de%20plantaciones%20en%20tropical%20humedo.pdf>

- MARENA/ INAFOR, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, ; Foresta, I.N. 2002. Guía de especies Forestales Nicaraguense Managua, Nicaragua Programa Socio Ambiental y de Desarrollo Forestal (POSAF) del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) e Instituto Nacional Forestal (INAFOR). 304 p. (Cedro macho) Consultado 02 de Dic. 2015. Disponible en <http://www.magfor.gob.ni/descargas/estudios/Gu%C3%ADa%20de%20Especies%20Forestales.pdf>
- Mendieta, M.; Zapata, J.; Tom, J.; Centro Científico Tropical, S.J.C.C.d.A.y.D., Guatemala. 1999. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica: Honduras. Consultado 18 Ags 2014. Disponible en http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnack095.pdf
- OPS, (Organización Panamericana de la Salud). 2007. Caracterización de poblaciones en riesgo de la Región Autónoma del Atlántico Norte Nicaragua. Disponible en <http://www.bvd.org.ni/digitalizacion/pdf/spa/doc0216/doc0216.pdf>
- Ortega, S. 2009. Caracterización socioeconómica de la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) de Nicaragua. Managua, Nicaragua. Disponible en <http://www.funica.org.ni/docs/Caracterizacion%20socioeconomica%20de%20la%20RAAN%20VF%20ES.pdf>
- Pacheco, P.; Barry, D.; Cronkleton, P.; Larson, A.M. 2008. The role of informal institutions in the use of forest resources in Latin America. Indonesia, Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. Consultado 10 Nov. 2015. Disponible en http://www.cifor.org/publications/pdf_files/books/bpacheco0801.pdf
- Pearson, H.L.; Vitousek, P.M. 2001. Stand dynamics, nitrogen accumulation, and symbiotic nitrogen fixation in regenerating stands of *Acacia koa*. *Ecological applications* (5): 1381-1394. Consultado 11 Nov 2014.
- Pérez, M.A.; Finegan, B.; Delgado, D.; Louman, B. 2001. Composición y diversidad de los bosques de la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua. *Revista Forestal Centroamericana*: 34, 40-45. Consultado 27 Ene 2015. Disponible en <http://biblioteca.catie.ac.cr/comunicacion/Publicaciones/Ecologia/2.pdf>
- Pinelo, G. 2000. Manual para el establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Manual Técnico No. 40. CATIE, Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala. 52 p. (Turrialba, Costa Rica, CATIE. 52p) Consultado 10 Sep. 2014.
- Reedy, R.C.; Arnold, J.R.; Lal, D. 1983. Cosmic-ray record in solar system matter. *Science* (4581): 127-135.
- Rinntech. 2011. TSAP-Win. (Time Series Analysis an presentation for dendrochronology an related applications. Versión 4,64 for Microsoft Windows) Consultado 01 Agost. 2013. Disponible en <http://www.rinntech.de/content/view/17/48/lang.english/index.html>
- Roig, F.A.; Zevallos Pollito, P.A. 2009. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología en Bolivia* (2): 73-82. Consultado 8 Ags 2014. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282009000200001&script=sci_arttext
- Root, T.L.; Hughes, L.; Lovejoy, T.; Hannah, L. 2005. Present and future phenological changes in wild plants and animals. See Lovejoy & Hannah: 61-69. Consultado 10 Nov 2014. Disponible en http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr191/psw_gtr191_1115-1118_root.pdf

- Rozendaal, D.M.; Soliz-Gamboa, C.C.; Zuidema, P.A. 2011. Assessing long-term changes in tropical forest dynamics: a first test using tree-ring analysis. *Trees* (1): 115-124. Consultado 30 de Oct. 2015.
- Rozendaal, D.M.; Zuidema, P.A. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. *Trees* (1): 3-16. Consultado 24 Jul 2014. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00468-010-0480-3>
- Salas, J.B. 1993. Árboles de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente, Managua, Nicaragua.[Links]. Consultado 09 Nov 2014.
- Schöngart, J.; Wittmann, F.; Worbes, M.; Piedade, M.T.F.; Krambeck, H.-J.; Junk, W.J. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd.(Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* (6): 657-664. Consultado 20 Oct. 2015. Disponible en <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00884118/document>
- Schöngart, J. 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): a new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian varzea floodplains. *Forest Ecology and Management* (46-48). Consultado 20 Dic 2014. Disponible en www.elsevier.com/locate/foreco
- Schweingruber, F.; Kairiukstis, L.; Shiyatov, S. 1990. Sample selection. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*: 23-35. Consultado 10 Sep 2014.
- Schweingruber, F.; Kairiukstis, L.A.; Shiyatov, S. 1992. Sample selection. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. II ed. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. (*Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences*) Consultado 08 de Nov 2013.
- Sesnie, S.E.; Finegan, B.; Gessler, P.E.; Ramos, Z. 2009. Landscape-Scale Environmental and Floristic Variation in Costa Rican Old-Growth Rain Forest Remnants. *Biotropica* (1): 16-26. Consultado 04 Dic 2014. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2008.00451.x/abstract?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>
- Shono, K.; Snook, L. 2006. Growth of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in natural forests in Belize. *Journal of Tropical Forest Science* (1): 8. Consultado 09 Dic. 2015. Disponible en http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Articles/ASnook0601.pdf
- Snook, L.K. 1998. Sustaining harvests of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) from Mexico's Yucatan forests: past, present and future. *Timber, tourists and temples: conservation and development in the Maya forest of Belize, Guatemala and Mexico* (R. Primack, DB Bray, H. Galleti and I. Ponciano, eds.). Island Press, Washington DC, USA: 61-80. Consultado 09 de Dic. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/y5189e/y5189e11.htm>
- Speer, J. 2010. *Fundamental of tree-ring research*. New York, USA, The University of Arizona Press Tucson. Consultado 01 Agost. 2013.
- Stahle, D.; Mushove, P.; Cleaveland, M.; Roig, F.; Haynes, G. 1999. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. *Forest Ecology and Management* (2): 217-229. Disponible en http://www.researchgate.net/profile/Gary_Haynes/publication/222498097_Management_implications_of_annual_growth_rings_in_Pterocarpus_angolensis_from_Zimbabwe/links/55147ffa0cf2eda0df327124.pdf
- Suárez de Castro, F. 1980. *Conservación de suelos*. IICA, San José (Costa Rica). 315 p. Consultado 08 Nov 2014.

- Swetnam, T.W.; Thompson, M.A.; Sutherland, E.K. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. Consultado 01 Agot. 2014. Disponible en <http://www.treearch.fs.fed.us/pubs/40898>
- Tapia, A.; Dussart, E. 2003. Aportes de la dendrocronología al estudio de la evolución del caldenar pampeano durante la ocupación ranquelina. Consultado 13 Ags 2014. Disponible en www.fcnym.unlp.edu.ar/.../rmlp_antro_2013_t13_n87_tapia_et al.pdf
- Villanueva, J.; Cerano, J.; Constante, V.; Montes, L.; Vásquez, L. 2009. Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. Gomez Palacio, Durango, México, Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 53 p. (Folleto Técnico 13) Consultado 01 Agost. 2014.
- Wagenmakers, E.-J.; Farrell, S. 2004. AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic bulletin & review* (1): 192-196. Consultado 10 Oct.2015. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.3758%2F03206482?LI=true>
- Worbes, M. 1992. Site and sample selection in tropical forest. Cook, E.R.; Kairiukstis, L.A. eds. 2nd ed. Netherlands Academic Publishers. 394 p. (Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences) Consultado 10 Nov 2014.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of ecology* (3): 391-403. Consultado 07 de Jul. de 2014.
- _____. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia* (1): 217-231. Consultado 16 Sep 2014.
- Worbes, M.; Raschke, N. 2012. Carbon allocation in a Costa Rican dry forest derived from tree ring analysis. *Dendrochronologia* (3): 231-238. Consultado 30 de Oct.
- WorldClim. 2014. Global climate data. Disponible en <http://www.worldclim.org/download>
- WWF, (World Wildlife Fund). 2003. Plan de Manejo Forestal KIWATINGNI. Bilwi, World Wildlife Fund. 89 p. (Manejo Forestal Comunitario de la Comunidad de Layasiksa) Consultado 30 Oct 2014.
- _____. 2004. Plan de manejo Forestal SIPBAA. Bilwi RAAN, World Wildlife Fund. 121 p. (Manejo Forestal Comunitario en las Comunidades del Bloque SIPBAA) Consultado 30 Oct 2014.

CAPÍTULO III

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

6. MATERIALES Y METODOLOGÍA

6.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en las comunidades de Layasiksa y Butku, que se ubican en la República de Nicaragua específicamente en la Región Autónoma del Caribe Norte. Estas dos comunidades, tras procesos sociales de integración, destinaron sitios en los cuales se da el aprovechamiento forestal comunitario con prácticas silviculturales, ejercido de forma ancestral por la comunidad indígena presente en la zona, donde las especies *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* son de interés por el aprovechamiento que realizan (WWF 2003; WWF 2004), (Pacheco *et al.* 2008).

6.2. Características biofísicas del área de estudio

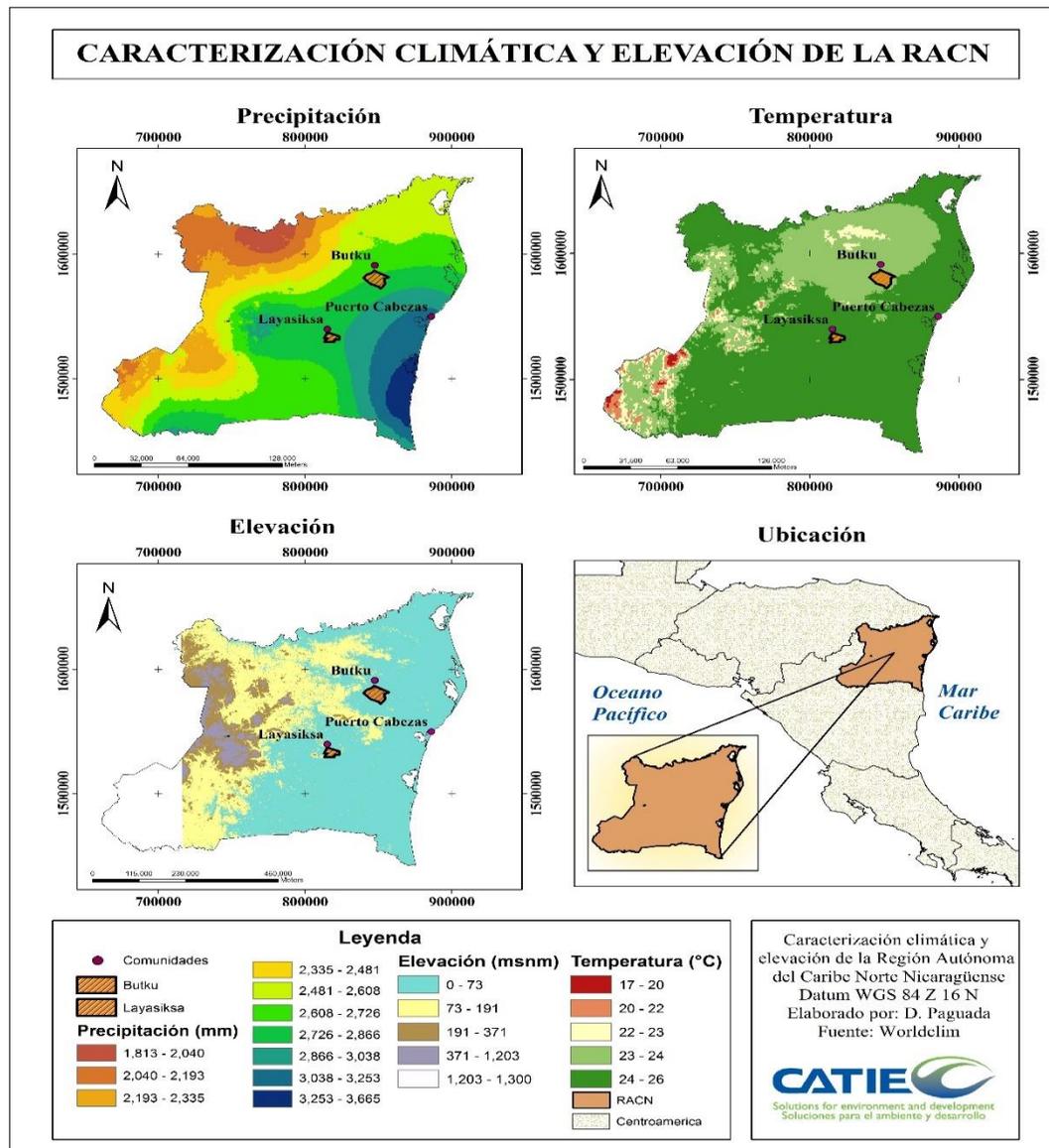
SUELO: De acuerdo con Herrera *et al.* (2010) los suelos de la RANC se desarrollaron a partir de rocas sedimentarias y sedimentos aluviales; los suelos varían de ácidos a muy ácidos; la profundidad efectiva fluctúa de moderada a muy profunda (60 a >100 cm), variaciones que obedecen a la erosión de acuerdo con la topografía del terreno. La fertilidad va de baja a muy baja por procesos de lixiviación y altas concentraciones de hierro, aluminio y manganeso (pH ácido a muy ácido); las texturas son predominantemente arcillosas Anexo 1.

PENDIENTE: Herrera *et al.* (2010) establece que el 61.9% de la RACN presenta una topografía plana con pendiente de <15%; el 4.1% topografía ondulada con pendiente de 15-30%; el 23.4% topografía quebrada con pendientes de 30 a 50%; y el 10.6% restante corresponde a una topografía escarpada con pendiente mayor al 50%.

CLIMA: Herrera *et al.* (2010) describe las condiciones climáticas de la RACN como típicas de ecosistemas tropicales húmedos, con variaciones a subtropicales en la zona de la sabana de pinares naturales, y tropicales en la zona de bosques latifoliados. Las precipitaciones son altas y aumentan de Oeste a Este (2,000 a 3,200 mm/anales, con un periodo seco de 4 a 5 meses). Las temperaturas medias anuales en las planicies son de 24 a 27°C, siendo consideradas cálidas y frescas de 23 a 25°C en los terrenos montañosos donde altura está entre los 300 a 800 m.s.n.m. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, la RACN tiene un clima tropical lluvioso y según la clasificación bioclimática de Holdridge, este es un bosque muy húmedo tropical, con transición a tropical en la sabana de pinares (bmh-S) y bosque húmedo tropical en la zona de bosques latifoliados (bh-T) *Figura 2*.

Se determinó la precipitación media anual, temperatura media anual, usando la base de datos de WordClim de los últimos 50 años. Esta información permitirá comprobar las condiciones de homogeneidad necesarias para cumplir con el principio de selección del sitio (Fritts 1976).

Los datos extraídos de Worldclim (2014) para área de Layasiksa fueron: la temperatura media anual de 25 °C, una precipitación media anual de 2826 mm en 50 años y la elevación varía de 2 a 115 msnm; para el área de Butku: la temperatura media anual es de 24 °C, con una precipitación media anual de 2750 mm, la altura varía entre 6 y 63 msnm *Figura 2*.

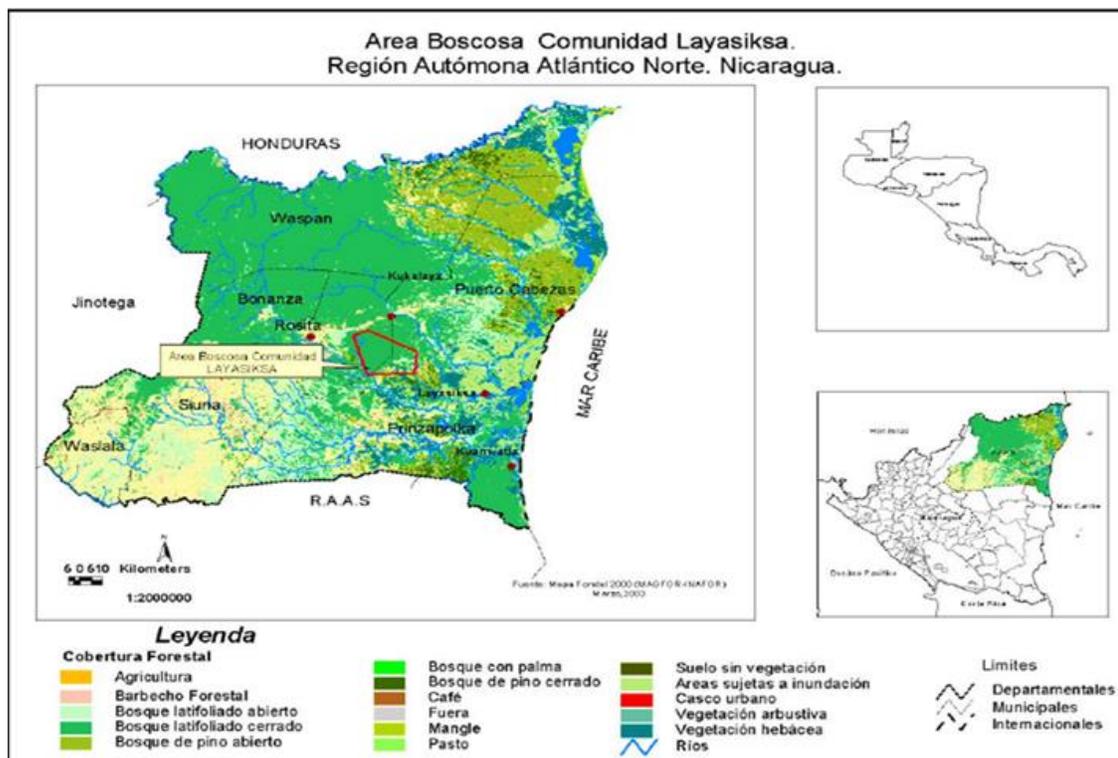


Fuente: Elaboración Propia

Figura 2. Mapa de modelación climática y elevación de las RACN.

6.3. Ubicación de los sitios de estudio

El área de manejo forestal de la comunidad (AMFC) de Layasiksa es de 4.666,09 ha (WWF 2003). Se encuentra delimitado por las coordenadas que forman un polígono (*Cuadro 1, Figura 3*).



Fuente: WWF (2003)

Figura 3. Mapa del Área de Manejo Forestal Comunal de Layasiksa.

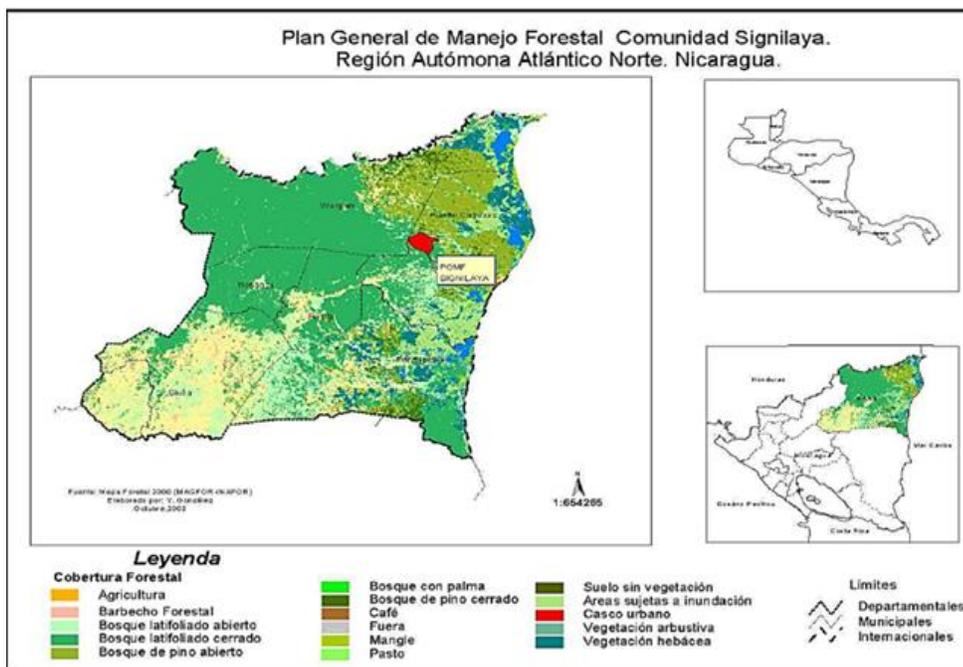
Cuadro 1. Coordenadas Área de Manejo Forestal Comunal de Layasiksa

No.	Latitud	Longitud
1	13°53'10"	84°05'04"
2	13°51'32"	84°00'31"
3	13°50'05"	84°00'33"
4	13°50'05"	84°02'13"
5	13°49'08"	84°02'21"
6	13°49'03"	84°06'12"
7	13°50'40"	84°06'15"
8	13°50'41"	84°05'01"

Fuente: WWF (2003)

El área de manejo forestal de la comunidad (AMFC) de Butku está adherida a otras 6 comunidades, y es conocida como el bloque SIPBAA (Sangilaya, Il Tara, Panua, Butku, Auhyá

Tara y Auhyá Pihni.) y estas juntas tienen 12.842,00 ha (WWF 2004).y se encuentran delimitadas por un conjunto de coordenadas que forman un polígono (Cuadro 2, Figura 4).



Fuente: WWF (2004)

Figura 4. Mapa del Área de Manejo Forestal Comunal del bloque SIPBAA

Cuadro 2. Coordenadas Área de Manejo Forestal Comunal del bloque SIPBAA

No.	Latitud	Longitud
1	83° 41' 21"	14° 16' 59"
2	83° 46' 59.1"	14° 19' 55"
3	83° 46' 59.4"	14° 19' 39"
4	83° 47' 33"	14° 19' 10"
5	83° 48' 28"	14° 18' 39"
6	83° 49' 45"	14° 18' 13.6"
7	83° 50' 59"	14° 16' 45"
8	83° 48' 25"	14° 14' 5"
9	83° 46' 49"	14° 13' 32"
10	83° 46' 31"	14° 13' 25"
11	83° 46' 17"	14° 13' 19"
12	83° 45' 3"	14° 12' 31.3"
13	83° 44' 34"	14° 11' 57.4"
14	83° 42' 55.7"	14° 13' 58.6"
15	83° 43' 4"	14° 16' 24"

Fuente: WWF (2003)

6.4. Aspectos socioeconómicos del área de estudio

La población de la zona de estudio es multiétnica conformada por Miskitos, Mayagnas, Ramas, Creole y Garifunas (los dos últimos son afrodescendientes) y una minoría son mestizos. Las lenguas que se hablan son la miskita, sumo, creole, inglés y español (Ops 2007). Las comunidades se encuentran organizadas por un junta de ancianos, al cual se le consulta y se le pide consejos, y el síndico quien es el responsable ante el gobierno regional (Ortega 2009).

El INAFOR (2007) establece las políticas importantes para el gobierno regional de la RACN que administra la demarcación y titulación del territorio, consolidar el proceso autonómico, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales haciendo énfasis a la pesca y a la forestería comunitaria. En temas forestales el INAFOR es el ente regulador.

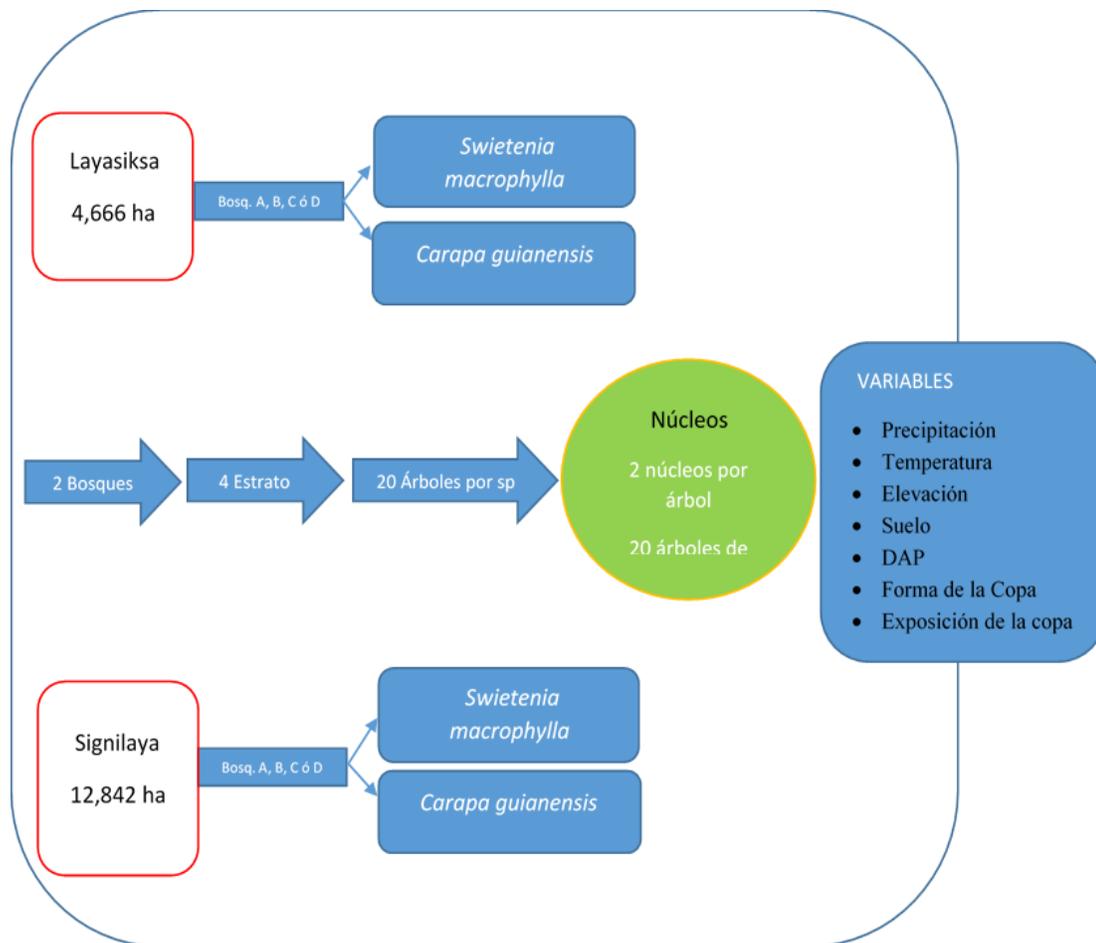
Según datos de la OPS (2007), la RACN presenta el peor indicador de acceso a los servicios básicos del nivel de país, 23.9% en contraste con 68.4% de promedio nacional. La cobertura oscila entre 0% para Prinzapolka hasta 57.9% para Puerto Cabezas. Los otros municipios presentan coberturas de 8.5% para Waspam, 11.6% para Waslala, 13.4% para Siuna, 15.1% para Mulukuku, 27% para Rosita y 40.1% para Bonanza. El 76.10% de las viviendas ocupadas en la región no cuentan con energía eléctrica, en contraste con el 81.6 del país y 83% de Managua.

Según Ortega (2009), las comunidades presentan una débil estructura organizacional para asumir iniciativas como empresas forestales comunitarias; en varios casos, las mismas autoridades comunales fueron elegidas como responsables de estos emprendimientos. Sin embargo, el nivel de experiencia en aprovechamiento forestal es considerado como bajo con fuertes debilidades en los procesos como extracción, dimensionado de la madera e insuficiente capacidad de negociar; lo que puede verse reflejado en las negociaciones de compra-venta de madera o contratos de aprovechamiento donde predomina la participación casi exclusiva del síndico; así mismo es un hecho muy usual que existan conflictos entre comunidades.

7. METODOLOGÍA

7.1. Diseño del muestreo

El diseño del muestreo constó de dos áreas de colecta; las áreas de manejo de Layasiksa y Butku; las cuales ofrecen sus trochas por donde se hacen los recorridos para el barrido e identificación de los árboles dispersos las especies de interés. El esquema correspondiente al diseño de muestreo se describe en la *Figura 5*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Esquema de diseño de muestreo.

7.2. Selección de la especies

Para este estudio se considera la *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* como las especies de interés. Estas dos especies son de la familia *Meliaceae* y de acuerdo con Dünisch *et al.* (2003) tienen la capacidad de registrar en sus anillos las variaciones climáticas. Se encuentran presentes en la territorio de la RACN (Cordero *et al.* 2003) y se considera que dichas especies tienen demanda comercial y son sobreexplotadas, según Cordero y Boshier (2003).

7.3. Muestreo en campo

7.3.1. Selección de los árboles

Dentro de las AMFC de Layasiksa y Butku, se hicieron recorridos usando las trochas abiertas durante el inventario forestal Anexo 2 y

Anexo 4; y se identificaron los árboles de *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*, usando la metodología de barrido para árboles dispersos empleada por Gallego y Finegan (2004). Se consideraban 25 árboles a coleccionar de cada especie para cada sitio de estudio con DAP \geq 55 cm; durante la coleccion de muestras se encontró que las poblaciones de las especies de interés han sido diezadas. En el Cuadro 3 se describe la coleccion de 120 núcleos, los cuales proceden de 90 árboles; 18 de *Swietenia macrophylla* y 42 *Carapa guianensis* y la comunidad de procedencia.

Cuadro 3. Coleccion de árboles muestreo

Espece	Comunidad	Núcleos	Árboles
<i>Swietenia macrophylla</i>	Layasiksa	36	18
<i>Carapa guianensis</i>	Layasiksa	44	22
<i>Carapa guianensis</i>	Butkus	40	20
Total		120	60

Los 60 árboles identificados y muestreados de *Swietenia macrophylla* y *C. guianensis*, no cumplieron con el diámetro mínimo requerido, ya que estas especies han sido diezadas por su aprovechamiento; por tal razón los diámetros de estos 60 árboles van de 35 a 98 de DAP; ver Anexo 8, Anexo 9 y Anexo 10.

7.3.2. Toma de muestras y mediciones en el árbol

A los árboles seleccionados en campo se les asignó una etiqueta, ejemplo: Lay01-A; describe el lugar de procedencia Layasiksa, el número de árbol 01 y el núcleo A; se extrajeron dos núcleos por árbol, usando un barrenador Pressler de 10 mm, los cuales se guardaron en un porta núcleos con su respectiva etiqueta para su posterior secado, lijado y análisis en el laboratorio.

A los árboles muestreados, se les tomaron parámetros de:

Posición: georreferenciada con GPS.

DAP: diámetro a la altura del pecho (1.30 m) tomado con una cinta diamétrica.

Altura comercial: La altura comercial es la variable que se mide desde la base del árbol hasta donde se considera que puede ser aprovechado y se usa para calcular el volumen aprovechable. Se medirá con hipsómetro.

Altura total: La altura total es la medición del árbol desde su base hasta el ápice de este. Se medirá con hipsómetro.

Exposición de la copa: Es la iluminación que recibe la copa del árbol y es una variable de las más importantes en los estudios de crecimiento, pues existe una correlación alta entre el nivel de iluminación y la tasa de crecimiento (Hutchinson 1993, Finegan, Camacho y Zamora 1999) citados por (Pinelo 2000). Se hizo la clasificación visualmente de acuerdo a la

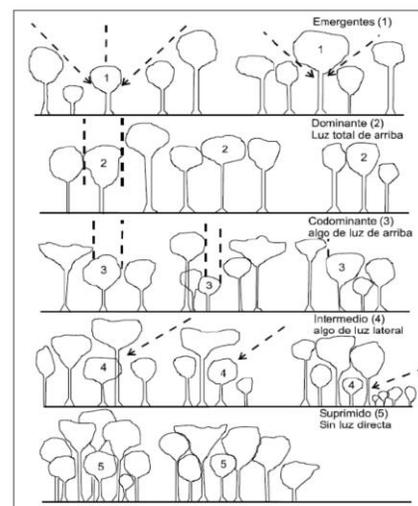


Figura 6. Posición sociológica y clases de iluminación de copa. (Dawkins 1958)

Anexo 15. Coeficientes de correlación entre el IAA de *Carapa guianensis* y precipitación.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
IAA	Lluvioso tardío	53	-0.03	0.8067
IAA	Enero	53	-0.02	0.8762
IAA	Febrero	53	-0.03	0.8454
IAA	Marzo	53	-0.12	0.4018
IAA	Abril	53	0.17	0.2355
IAA	Mayo	54	-0.07	0.609
IAA	Junio	53	0.06	0.6658
IAA	Julio	54	0.02	0.8885
IAA	Agosto	53	0.04	0.8029
IAA	Septiembre	54	-0.12	0.3805
IAA	Octubre	53	-0.14	0.3236
IAA	Noviembre	51	-0.05	0.7185
IAA	Diciembre	52	0.14	0.3095
IAA	Precipitación anual	55	0.04	0.7596
IAA	Temporada lluviosa	55	0.03	0.8248
IAA	Temporada seca	53	0.02	0.8915
IAA	Seco-lluvioso	54	1.50E-03	0.9914
IAA	Lluvioso seco	53	-0.03	0.8311
IAA	Lluvioso temprano	55	0.06	0.6572
IAA	Lluvioso tardío	54	-0.1	0.4544

Anexo 16. Coeficientes de correlación entre el IAA de *Carapa guianensis* y temperatura.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
IAA	Enero	52	-0.18	0.211

IAA	Febrero	51	-0.2	0.1663
IAA	Marzo	52	0.13	0.3699
IAA	Abril	52	-0.03	0.8263
IAA	Mayo	51	-0.17	0.2371
IAA	Junio	49	-0.24	0.0959
IAA	Julio	52	-0.08	0.5779
IAA	Agosto	51	-0.12	0.3993
IAA	Septiembre	51	-0.14	0.3161
IAA	Octubre	53	-0.08	0.5896
IAA	Noviembre	48	-0.33	0.0202
IAA	Diciembre	50	-0.22	0.1335
IAA	Temperatura media	54	-0.11	0.4408
IAA	Temporada lluviosa	54	-0.13	0.3605
IAA	Temporada seca	52	-0.1	0.4807
IAA	Seco-lluvioso	53	0.06	0.6853
IAA	Lluvioso seco	53	-0.2	0.1465
IAA	Lluvioso temprano	53	-0.12	0.3938
IAA	Lluvioso tardío	53	-0.17	0.2131

Anexo 17. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de precipitación y el IAA de *Swietenia macrophylla* que se forma un año siguiente.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
IAACaoba año siguiente	Enero	52	-0.08	0.5953
IAACaoba año siguiente	Febrero	52	0.06	0.6789
IAACaoba año siguiente	Marzo	52	0.16	0.2542
IAACaoba año siguiente	Abril	52	0.02	0.906
IAACaoba año siguiente	Mayo	53	-2.20E-03	0.9876
IAACaoba año siguiente	Junio	52	0.16	0.2528
IAACaoba año siguiente	Julio	53	-0.07	0.602
IAACaoba año siguiente	Agosto	52	0.1	0.4613
IAACaoba año siguiente	Septiembre	53	-0.32	0.0178
IAACaoba año siguiente	Octubre	52	0.18	0.2017
IAACaoba año siguiente	Noviembre	50	-0.17	0.2508
IAACaoba año siguiente	Diciembre	51	-0.02	0.9098
IAACaoba año siguiente	Precipitación anual	54	0.07	0.6015

Anexo 18. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de temperatura y el IAA de *Swietenia macrophylla* que se forma un año siguiente.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
IAACaoba año siguiente	Enero	51	-0.15	0.2927

IAACaoba año siguiente	Febrero	50	0.05	0.7435
IAACaoba año siguiente	Marzo	51	0.13	0.377
IAACaoba año siguiente	Abril	51	-0.12	0.3831
IAACaoba año siguiente	Mayo	50	-0.01	0.9329
IAACaoba año siguiente	Junio	48	-0.08	0.6081
IAACaoba año siguiente	Julio	51	-0.16	0.2729
IAACaoba año siguiente	Agosto	50	-0.01	0.9184
IAACaoba año siguiente	Septiembre	50	0.06	0.6852
IAACaoba año siguiente	Octubre	52	-0.15	0.2769
IAACaoba año siguiente	Noviembre	47	-0.07	0.6412
IAACaoba año siguiente	Diciembre	49	-0.21	0.154
IAACaoba año siguiente	Media	53	-0.09	0.5427

Anexo 19. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de precipitación y el IAA de *Carapa guianensis* que se forma un año siguiente.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
IAA-CM Año siguiente	Enero	52	-0.06	0.6719
IAA-CM Año siguiente	Febrero	52	-0.25	0.0703
IAA-CM Año siguiente	Marzo	52	-0.18	0.2038
IAA-CM Año siguiente	Abril	52	-0.07	0.6
IAA-CM Año siguiente	Mayo	53	0.16	0.2483
IAA-CM Año siguiente	Junio	52	-0.02	0.8867
IAA-CM Año siguiente	Julio	53	-0.16	0.2433
IAA-CM Año siguiente	Agosto	52	-0.16	0.2499
IAA-CM Año siguiente	Septiembre	53	-0.08	0.5727
IAA-CM Año siguiente	Octubre	52	-2.80E-04	0.9984
IAA-CM Año siguiente	Noviembre	50	0.21	0.1481
IAA-CM Año siguiente	Diciembre	51	-0.01	0.9542
IAA-CM Año siguiente	Precipitación anual	54	-0.1	0.4635

Forma de la copa: La copa de un árbol y su forma indican el vigor del individuo, según la especie así como el estado de desarrollo (Pinelo 2000).

Las mediciones registradas de cada árbol están resumida en los Anexo 8, Anexo 9 y Anexo 10.

7.4. Otras variables consideradas

Precipitación y temperatura: Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en Puerto Cabezas ver en *Figura 7*, esta estación pertenece a la red de estaciones meteorológicas de la Dirección General de Meteorología y que forma parte del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, esta estación lleva registro mensuales desde 1959 a 2015 ver en *Anexo 6* y *Anexo 7*.

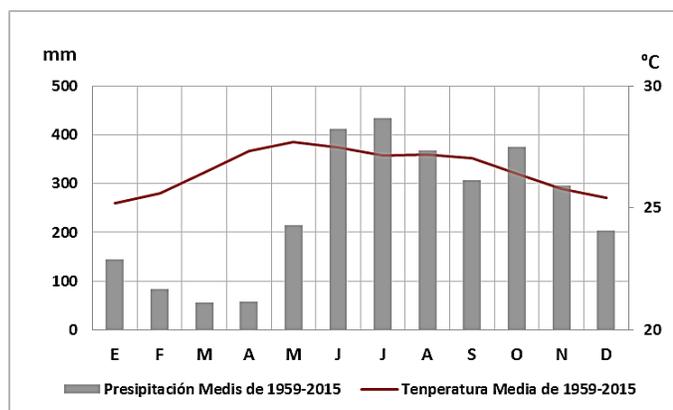


Figura 7. Precipitación y temperatura de 56 años, estación meteorológica en Puerto Cabezas, Nicaragua. Fuente: (INETER 2015)

Elevación: Tomada con GPS.

Suelos: para la presente investigación, se usó el protocolo de suelos de Sesnie *et al.* (2009), que considera: drenaje, profundidad del suelo, pendiente en porcentaje, textura del suelo superficial, pH del suelo, color del suelo, pedregosidad, contenido de materia orgánica y macronutriente.

Las muestras de suelo se tomaron adyacentes a cada árbol, tomando cinco submuestras a una profundidad de 30 cm y eliminando la hojarasca. Se entremezclaron las cinco submuestras para homogeneizarlas y se obtuvo así una muestra compuesta del suelo (Sesnie *et al.* 2009). Se midió la profundidad efectiva del suelo en cada uno de los 5 sitios de donde se extrajo la muestra con una varilla metálica de 1,10 m de largo, (Sesnie *et al.* 2009) y se determinó la profundidad en cuatro categorías: 1) profundo > 90 cm; 2) moderadamente profundo 50-90 cm; 3) superficial 25-50 cm; 4) muy superficial < 25 cm (Suárez de Castro 1979). Otras variables consideradas fueron la pendiente (grados de inclinación) del terreno la cual se midió con un clinómetro y la altitud (msnm) dada por el GPS.

Las muestras de suelo se enviaron a los laboratorios de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria en Managua, Nicaragua donde se solicitó el análisis de textura, pH, acidez, Ca, Mg, K, P, Zn, Fe, Mn, porcentaje de C y N totales y porcentaje de materia orgánica (MO). Estos datos explican la composición física y química del suelo (Huerta *et al.*). Estos datos serán detallados en una matriz.

Topografía; de acuerdo con Delgado y Finegan (1999) determinar la topografía es importante porque está asociado a la variación ambiental natural, esta se categoriza en: a) cima, parte alta de la pendiente; b) ladera, parte media de la pendiente; c) bajo, parte baja de la ladera.

Resultados del análisis del suelo

Para el análisis de suelos, se dispuso agrupar las muestras de acuerdo con el sitio y la especie, quedando:

Cuadro 4. Agrupación por sitio de colecta en las muestras de suelo

Sitio	Especie	Comunidad
Sitio de colecta 1	<i>Swietenia macrophylla</i>	Layasiksa
Sitio de colecta 2	<i>C. guianensis</i>	Butku

El análisis de suelo se llevó a cabo en los laboratorios de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de Managua en Nicaragua, los resultados químicos y de textura se resumen en los *Cuadro 5*, *Cuadro 6* y *Cuadro 7*.

Cuadro 5. Resultados del análisis químico del suelo

ANÁLISIS QUÍMICO								
Descripción	pH	% MO	% N	% Nt	Disponibilidad			
					P	K	Ca	Mg
					ppm		me/100 g suelo	
Sitio de colecta 1	4.82	5.68	0.28	0.39	1.69	0.23	0.44	0.46
Sitio de colecta 2	5.26	4.93	0.25	0.30	1.17	0.35	3.01	1.45

Cuadro 6. Resultados del análisis químico de micronutrientes del suelo

ANÁLISIS QUÍMICO “MICRONUTRIENTES”				
Descripción	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
Sitio de colecta 1	106.30	2.00	1.10	47.43

Sitio de colecta 2	88.20	2.10	6.80	279.95
---------------------------	-------	------	------	--------

Cuadro 7. Resultados del análisis físico del suelo

Descripción	Partículas			Clase de Textura
	Arcilla	Limo	Arena	
Sitio de colecta 1	35.6	36	28.4	Franco arcilloso
Sitio de colecta 2	31.6	40	28.4	Franco arcilloso

8. LABORATORIO

8.1. Preparación de núcleos

Los núcleos con imperfecciones como nudos, anillos muy estrechos, pudriciones, heridas, madera de compresión o tensión, no adecuadas para la datación fueron desechados. Los núcleos óptimos se secaron al aire libre y se colocaron en los soportes de madera, verificando que el alineamiento de las células fuera la correcto, fijadas con pegamento soluble en agua por si se debiera que corregir su posición. Los soportes de madera son 3 cm de ancho x 3 cm de grosor, por el largo de la muestra, en general se elaboran de maderas de baja densidad, realizando una canaleta por el centro del marco de 2 mm (ancho y profundidad) en todo el largo del soporte de la muestra (Villanueva *et al.* 2009).

Una vez los núcleos estuvieron fijados en los soportes de madera, fueron llevados al laboratorio donde se comenzará con el lijado. Se lijaron los núcleos de forma manual y con pulidoras, teniendo precaución de no quemar la madera. Para esto se usarán lijas de diferentes granulados (40-1,000 granos/pulgada²) con el fin de aumentar el contraste de los elementos anatómicos de acuerdo con Villanueva *et al.* (2009). De igual manera, se usó agua y barniz para llenar espacios vacíos y hacer más claros los anillos, aumentar el contraste de la superficie y los límites entre las bandas de parénquima, y así se logra resaltar estas células (Pilcher 1992).

8.2. Medición de los núcleos

La medición de los anillos se hizo con el *software* Image-Pro Plus versión 4.0 para Windows; este programa procesa imágenes digitalizadas escaneadas las que convierte a pixeles para poderlos medir (Cybernetics 2005). El escáner de alta resolución empleado para digitalizar los núcleos fue el Epson Perfection V850 Pro Scanner con un poder de resolución máxima de 6400 x 9600 puntos

por pulgada, teniendo una resolución de 14 MegaPixles (Atienza Vanacloig y Luis 2011). El *software* Image-Pro Plus es una plataforma de medición en donde se cargan las imágenes de los núcleos y de acuerdo con criterios visuales como características macro y microscópicas, color de la madera temprana y tardía, tamaño y disposición de poros, micro anillos, límite de anillos (Swetnam *et al.* 1985; Constante García *et al.* 2009), se establece dónde comienza y terminan los anillos.

Para medir el ancho de cada anillo, se coloca el puntero al inicio de cada anillo dando un clic sostenido para determinar el inicio y final de cada anillo, para guiar la dirección de las mediciones se inicia en la médula y termina en la corteza, asegurándose una línea en dirección perpendicular en todo el ancho del anillo que sigan la dirección de rayos de la madera (García González *et al.* 2001; Constante García *et al.* 2009).

Al terminar la medición de los anillos, se genera un archivo de salida con extensión TXT, que contiene los valores medidos de cada anillo para cada núcleo, las unidades en que se midieron los anillos pueden ser en micros, milímetros o centímetros y depende el usuario, este archivo se puede exportar a cualquier otro formato y así poder analizar las mediciones.

8.3. Sincronización y anualidad

Para sincronizar las mediciones de los núcleos (series) y establecer fechas calendario a las series cronológicas, primero se procedió a encontrar el patrón de crecimiento graficándolo en *skeleton plot*; el cual grafica el grosor de los anillos de cada serie de crecimiento, dándole un valor relativo a los anillos más anchos que se representa con una línea vertical pequeña y los anillos más delgados con una línea vertical más grande (Constante García *et al.* 2009; Speer 2010). Los *skeleton plots* se construyen y grafican en papel milimetrado dividido en periodos de 10 anillos (años), se realiza una comparación de todas las series de crecimiento, con el propósito de construir una máster para cada especie y sitio, dado así el fechado al indicar que el anillo externo es el último año.

La máster de cada especie se comparó con cada serie de la misma especie, esto permite identificar falsos anillos, anillos ausentes, y micro anillos. Se considera como el primer filtrado donde se pueden identificar, errores en anillos para cada serie (Constante García *et al.* 2009; Villanueva *et al.* 2009; Speer 2010; Rinntech 2011).

El segundo paso fue utilizar el *software* COFECHA para el control de calidad del fechado y medición, con ello obtener la correlación entre anillos de cada serie de la misma especie; se pretende que los valores de correlación de Pearson son para analizar la correlación entre series y Spearman es entre anillos y segmentos de una serie y estos sobrepasen un punto crítico de correlación de 0.3281, al usar un nivel de confianza de 99%, cuando esto ocurre se entiende que no se ha identificado problemas en las mediciones, o no se presentan anillos perdidos, micro anillos o falsos anillos (Grissino-Mayer 2001; Holmes 2004; Constante García *et al.* 2009).

Las salidas del *software* COFECHA se pueden ver en el Anexo 11 y Anexo 12.

8.4. Índice de Ancho de Anillos “Estandarización”

Con las series sincronizadas, se hace uso del *software* ARSTAN para la estimación y obtención de las cronologías, este método estima la serie común promediando los índices de ancho de anillo estandarizados de todas las series para cada año (Villanueva *et al.* 2009). Teniendo los IAA se hacen análisis de correlación que establezcan el grado interacción con las variables climáticas (Villanueva *et al.* 2009).

8.5. Desarrollo de modelos de crecimiento

La reconstrucción de los diámetros hasta el año uno es crítico para la modelación, sin ellos no es posible generar los modelos de crecimiento; la construcción de los modelos toma los núcleos colectados en campo donde de acuerdo a Schöngar (2008) el incremento diamétrico de un árbol se modela de dos formas; la primer de ellas, a partir de diferentes individuos de la misma especie, se toman los incrementos diamétricos medidos de las muestras desde médula hasta la corteza, y se toman como incremento diamétrico acumulado para formar curvas de crecimiento individuales (Brienen y Zuidema 2006b). La curva de crecimiento en diámetro medio acumulada describe la relación entre la edad del árbol y el diámetro de una especie (Stahle *et al.* 1999; Schöngart *et al.* 2007).

La segunda forma de modelar es con las edades de los árboles determinados por anillo contando que están relacionadas con el DAP correspondiente de varios individuos de la misma especie (Schöngart 2008).

La forma de modelar la relación edad diámetro (crecimiento) fueron ajustadas a una función sigmoideal usando diámetro como variable independiente (Schongart *et al.*, 2007) (Imaña y Encinas 2008):

$$\mathbf{DAP} = \frac{\alpha}{(1 + (b/edad)^c)}$$

Utilizando el *software* Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013) y su interface con R (Baayen 2007), se ajustan los modelos para las dos especies y dado que el efecto del árbol inducía variabilidad en los modelos de efectos fijos, se incluyó el efecto del árbol como un efecto aleatorio, ajustando las funciones de crecimientos como un modelo no lineal de efectos mixtos (modelo no lineal mixto). La librería utilizó la función nlmer de la librería Lme4 (Bates *et al.* 2014). En el Cuadro 8 se muestra la función y el modelo no lineal mixto.

Cuadro 8. Funciones y ecuación de modelos no lineales mixtos

Función	Ecuación
Logística	$DAP = \alpha * \exp(-\beta * \exp(-\gamma * \text{Edad}))$
Gompertz	$DAP = \alpha / (1 + \beta * \exp(-\gamma * \text{Edad}))$

donde:

α = Valor asintótico de la variable que puede ser alcanzado

β = Parámetro de posición en el tiempo de inicio del periodo

γ = Tasa o constante de crecimiento

Edad= tiempo

Exp= exponente

Con la comparación de los AIC-BIC de los modelos, se obtuvo como resultado que la función de Gompertz y la logística tienen los valores más bajos del AIC; por ello este trabajo de investigación solamente usa estos dos modelos.

El criterio usado para establecer cuál de los modelos no lineales mixto se ajusta más fue el criterio información de Akaike (AIC), es una medida de la calidad relativa de los modelos estadísticos para un conjunto dado de datos. Dada una colección de modelos para los datos, AIC estima la calidad de cada modelo, en relación con cada uno de los otros modelos. Por lo tanto, AIC proporciona un medio para la selección del modelo (Wagenmakers y Farrell 2004).

Los modelos de crecimiento que describen el tiempo en el que las dos especies investigadas alcanzan su incremento diamétrico óptimo, también establecen la dinámica de crecimiento en los bosques bajo manejo comunitario; estas modelaciones del DAP permiten determinar el incremento corriente anual e incremento medio anual:

- **Incremento Corriente Anual ICA** se calculó por la diferencia del incremento anual, en un periodo de un año (Imaña y Encinas 2008):

$$ICA = Y_{(t+1)} - Y_{(t)}$$

Dónde: ICA = incremento corriente anual, Y = dimensión de la variable considerada, y t = edad.

- **Incremento Medio Anual IMA** se calculó por la división del mayor valor actual de la variable considerada, dividida por la edad a partir del tiempo cero (Imaña y Encinas 2008):

$$IMA = Y_{(t)} / Y_{(o)}$$

Dónde: IMA = incremento medio anual, t_0 = edad a partir del tiempo cero, Y = dimensión de la variable considerada.

9. ANÁLISIS DE DATOS

Para determinar la anualidad de los anillos de crecimiento, se analizaron las muestras verificando la anatomía, estructura y distribución de sus anillos. Al ver la muestra, se pudo establecer la distribución del parénquima terminal, la distribución de los poros y vasos, y la dirección de las fibras y los filamentos; asimismo, se observa el cambio de coloración entre la madera temprana y tardía; con estas características, se logró determinar si los núcleos presentan anualidad en sus anillos.

Se modelaron los anillos medidos y sincronizados, en dos modelos no lineales mixtos para con ellos obtener la sigmoide de crecimiento en los árboles observados y así determinar el aumento corriente anual e incremento medio anual que faculten la toma de decisión en cuanto al ciclo de corta.

Las variables de suelo permitirán describir las condiciones en las cuales se está dando el crecimiento de estas especies en la RACN.

Para observar el efecto del clima sobre el crecimiento, se hará un análisis de correlación entre los IAA y el clima, la precipitación y la temperatura.

10. RESULTADOS

10.1. Características microscópicas de los anillos de crecimiento

Swietenia macrophylla y *Carapa guianensis* presentan anillos de crecimiento bien definidos los que constituyen características distintivas para cada especie ver *Figura 8*. Dichas características están descritas de acuerdo con Worbes (1992), Cordero *et al.* (2003) y Hernández y Williams (2009).

Swietenia macrophylla presenta médula comprimida en árboles jóvenes y sin ella en árboles viejos, es de duramen rosado rojizo en árboles jóvenes que se oscurece con la edad. Hay una transición gradual entre albura y duramen, las bandas de parénquima delimitan los anillos; estos a su vez presentan dos coloraciones: la madera temprana de color claro y la madera tardía de color más oscuro. Hay poros ovalados y difusos, sin patrón definido aglomerados en la madera tardía, visibles a simple vista. Parénquima apotraqueal difuso, fibras bien definidas por radios medulares visibles.

Carapa guianensis muestra una micro-anatomía que varía en razón de donde ha crecido el árbol, las muestras provienen de un área no abnegada, presentando una coloración oscura y anillos de crecimiento bien definidos por el parénquima terminal. Se observa una transición no gradual entre albura y duramen, y la médula no comprimida y con facilidad para distinguir los anillos de crecimiento.

La madera temprana y tardía no es fácil de diferenciar, asimismo la madera tardía presenta un ligero oscurecimiento hacia el parénquima terminal, y poros dispersos sin patrón de aglomeración fáciles de distinguir obstruidos por presencia de goma. También se encuentra parénquima apotraqueal marginal y el paratraqueal vasicétricas; así como fibras ensanchadas que marcan los radios medulares.

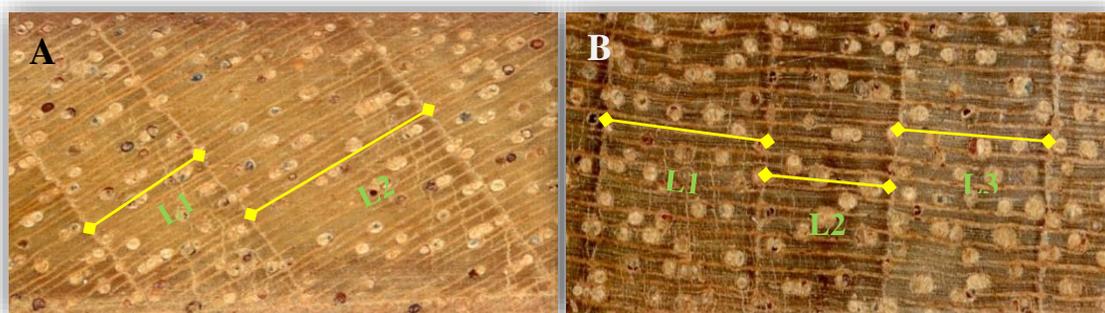


Figura 8. Imágenes macroscópicas de núcleos escaneados (14 mp de resolución) en muestras transversales medidas de (A) *Swietenia macrophylla*, (B) *Carapa guianensis*, exhiben la disposición de la medición del anillo de crecimiento, entre las paredes del parénquima terminales siguiendo la dirección de las fibras.

10.2. Anualidad y sincronización de los anillos

Se colectaron 120 núcleos, los cuales procedieron de 90 árboles; 18 de *Swietenia macrophylla* y 62 *C. guianensis*. Estos árboles han sido colectados en las áreas bajo manejo forestal comunal de Layasiksa y Butkus Cuadro 9.

Cuadro 9. Resumen de muestras colectadas.

Especie	Comunidad	Núcleos	Árboles
<i>Swietenia macrophylla</i>	Layasiksa	36	18
<i>Carapa guianensis</i>	Layasiksa	44	22
<i>Carapa guianensis</i>	Butkus	40	20
Total		120	60

Durante el análisis se encontraron 5 árboles de *Swietenia macrophylla* colectados en la comunidad de Layasiksa que no sincronizan con el resto, la razón es que pertenecen a un sitio a 12 kilómetros de distancia de donde se recogieron los otros 13 árboles, por los que se les excluyó del análisis. En la comunidad de Butku, no se logró encontrar ejemplares de *Swietenia macrophylla* para muestrear.

Las muestras de *Carapa guianensis* de la comunidad de Layasiksa presentan anillos con dos y tres años en la sección del duramen, mientras que en la albura la formación de falsos anillos es más frecuente; no siendo posible su medición y análisis. En la *Figura 9*, se puede observar la disposición de la madera y la formación de los anillos.

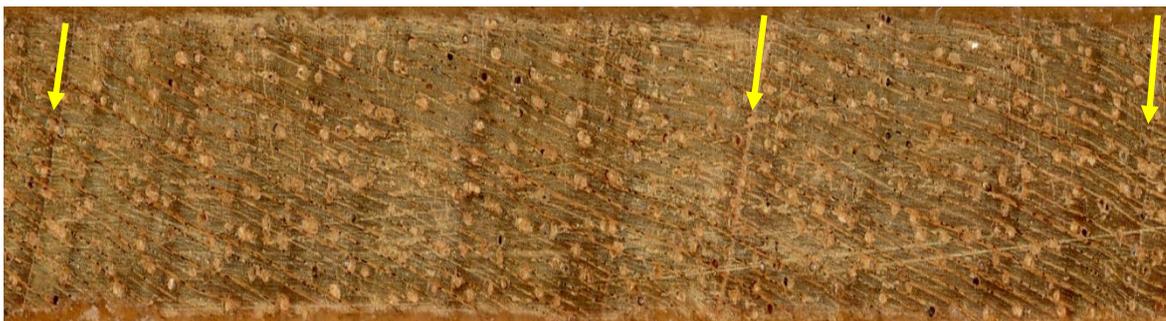


Figura 9. Imagen transversal de la muestra Lay33-A de *Carapa guianensis* (14 mp de resolución), en la que se señala con flechas amarillas el parénquima terminal que define cada anillo. Las bandas con coloración más oscura representan la madera tardía y las claras la madera temprana; esta disposición de la madera temprana y tardía en un mismo anillo insta la idea de dos y tres años en un anillo de crecimiento.

En el *Cuadro 10*, se describen los núcleos que fueron examinados y medidos en la presente investigación, los núcleos que fueron excluidos del análisis por sus condiciones anatómicas se conservan en el laboratorio de dendroecología, para futuros análisis.

Cuadro 10. De 60 árboles analizados solamente se sincronizaron 25 árboles.

Especie	Árboles analizados	Árboles sincronizados	Núcleos sincronizados	Procedencia
<i>Swietenia macrophylla</i>	18	13	27	Layasiksa
<i>Carapa guianensis</i>	20	12	24	Butku
<i>Carapa guianensis</i>	22	0	0	Layasiksa

Swietenia macrophylla sincronizada consta de 1182 anillos, con una correlación de Pearson de 0.305 al 99% nivel de confianza y punto crítico a sobrepasar de 0.2997, con 27 series analizadas correspondiente a 13 árboles, datándose 74 años de 1940 a 2014 y una media de incremento anual de 3.2 mm; ver tabla en el *Anexo 11*.

La *Figura 10* muestra el patrón de crecimiento en *Swietenia macrophylla* dado por la distribución de los anillos medidos, sincronizados y correlacionados.

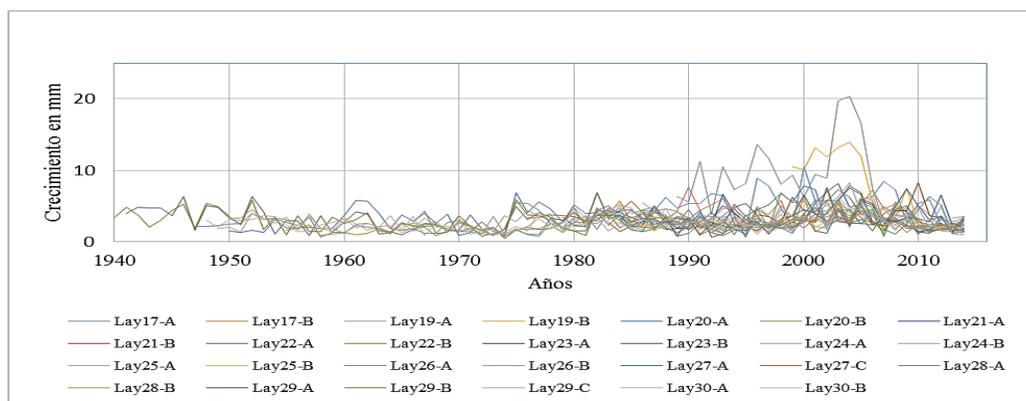


Figura 10. Patrón de crecimiento de los núcleos medidos, sincronizados y correlacionados de *Swietenia macrophylla*.

Carapa guianensis sincronizada consta de 1477 anillos, con una correlación de Pearson de 0.624 al 99% nivel de confianza y punto crítico a sobrepasar de 0.2997, con 24 series analizadas correspondientes a 12 árboles, datándose 89 años de 1926 a 2014 y una media de incremento anual de 3.1 mm, ver tabla en el *Anexo 12*.

La *Figura 11* muestra el patrón en *Carapa guianensis* dado por la distribución de los anillos medidos, sincronizados y correlacionados.

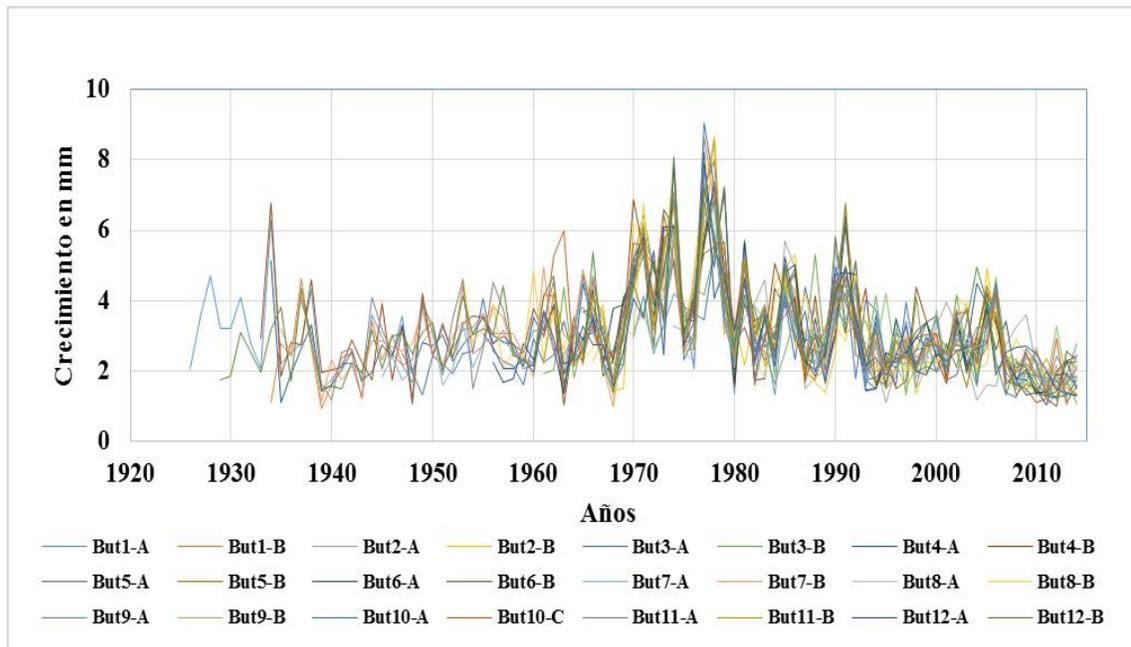


Figura 11. Patrón de crecimiento de los núcleos medidos, sincronizados y correlacionados de *Carapa guianensis*.

10.3. Modelos de crecimiento

Para desarrollar los modelos de crecimiento, se examinaron los núcleos a fin de establecer si alcanzaban la médula del árbol, ya que para ajustar los modelos es necesario contar con núcleos que cuenten con el crecimiento total del árbol. Cuando los núcleos no llegan a la médula del árbol, se calculan los anillos faltantes de acuerdo con la metodología propuesta por Brienen (2005), la cual calcula la distancia hasta la médula y utiliza el crecimiento medio de los anillos de las otras muestras de la misma especie para estimar los anillos faltantes y con ello la edad del árbol.

Se modela gráficamente el crecimiento de los árboles en función de su edad para las especies *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis*, lo cual se puede ver en la Figura 12

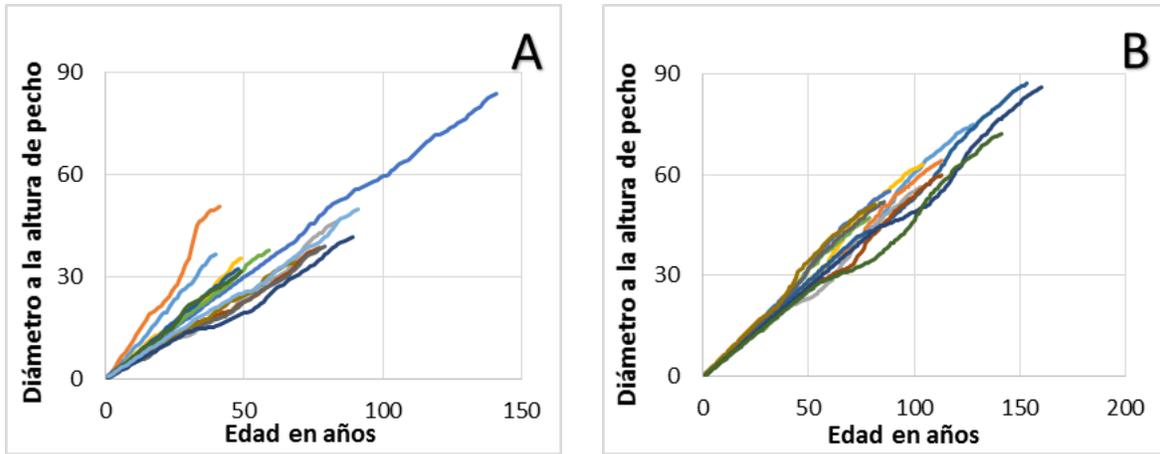
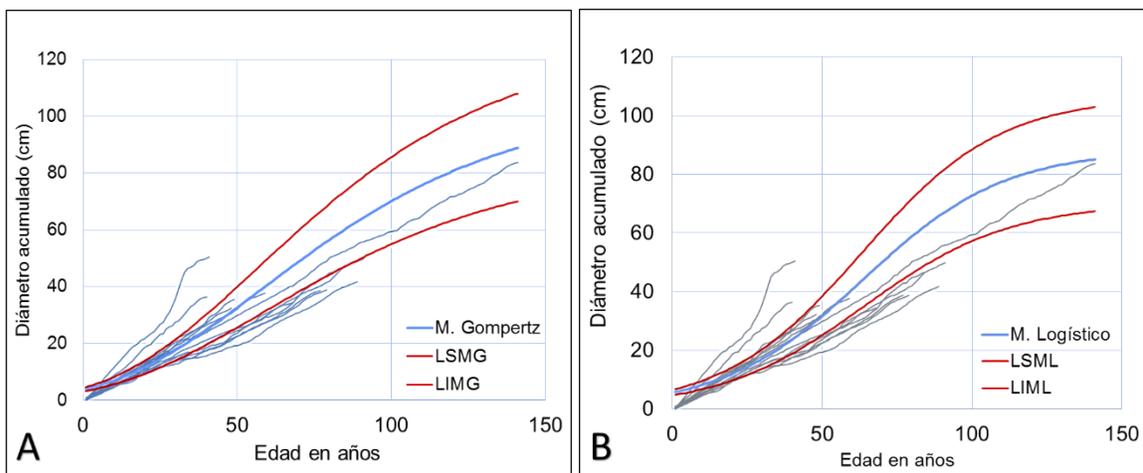


Figura 12. Crecimiento en función de la edad de 13 árboles de *Swietenia macrophylla* **A** y 12 árboles de *Carapa guianensis* **B**.

Producto de la modelación, en cada especie se tiene un modelo sigmoide de Gompertz y un modelo sigmoide logístico; ver *Figura 13*.

La comparación del AIC del modelo Gompertz con valor de 5677.6 contra el AIC del modelo logístico con valor de 5743.6 para los datos de *Swietenia macrophylla* establece que el modelo Gompertz ajusta mejor los DAP de la especie; ver *Figura 13*.

La comparación del AIC del modelo Gompertz con valor de 7494.1 contra el AIC del modelo logístico con valor de 7822.0 para los datos de *Carapa guianensis* establece que el modelo Gompertz ajusta mejor los DAP de la especie; ver *Figura 13*.



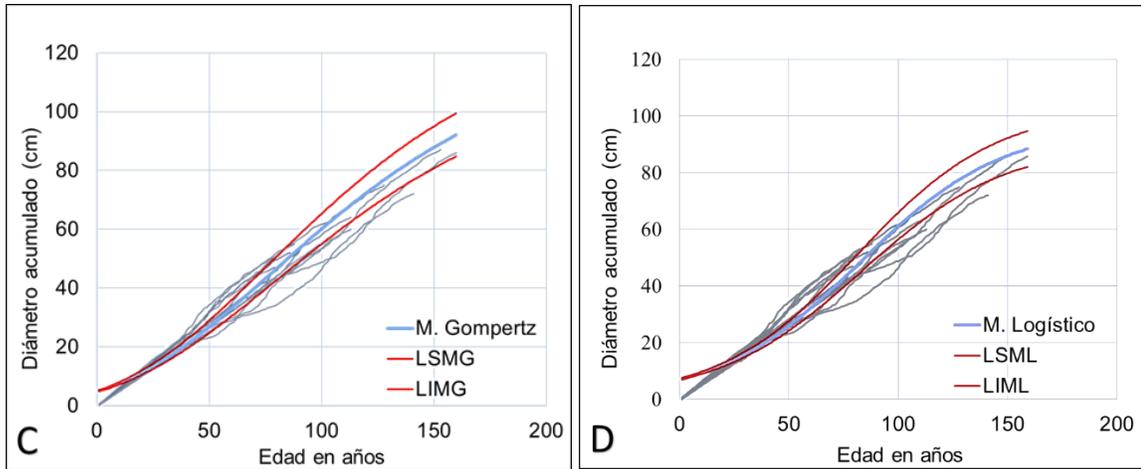
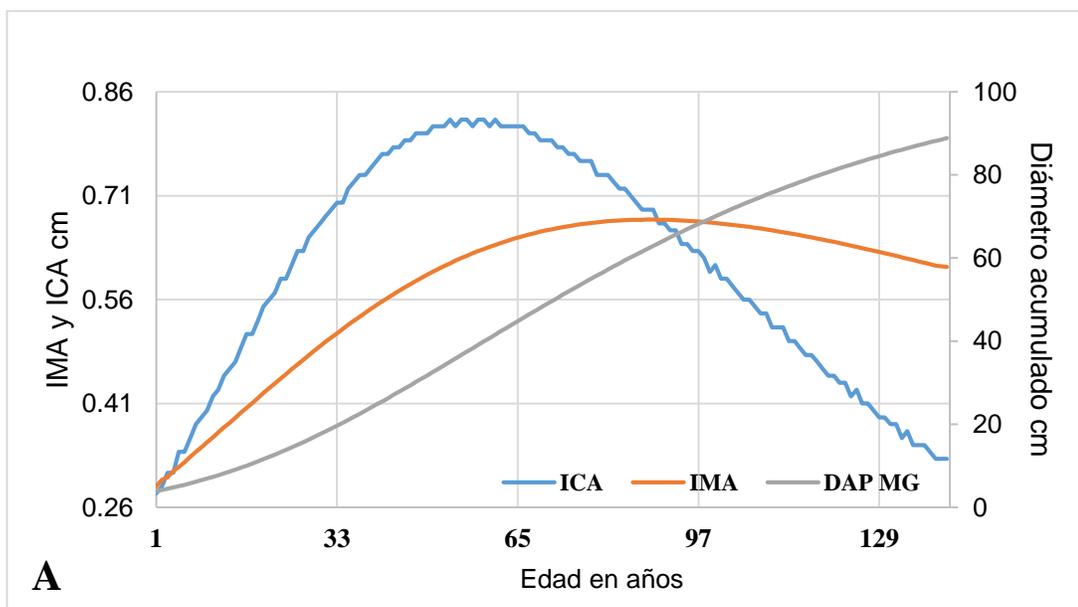


Figura 13. Modelación sigmoide **A** Gompertz y **B** logístico de la especie de *Swietenia macrophylla*, **C** Gompertz y **D** Logístico de *Carapa guianensis*; en color azul la modelación de los DAP, en rojo los intervalos de confianza como límite superior o inferior del modelo y en color gris los árboles.

Los incrementos diamétricos ajustados por el modelo sigmoide de Gompertz permiten derivar el ICA e IMA en las dos especies. El ICA es el resultado de la diferencia de incremento diamétrico anual del primer año con respecto al segundo año; el IMA es la posición media del crecimiento diamétrico en los diferentes intervalos de edad.

El propósito de modelar los DAP acumulados junto con el IMA y el ICA es poder establecer el turno biológico del o los árboles y su periodo de aprovechamiento, en la *Figura 14* se grafica el DAP acumulado del modelos sigmoide Gompertz junto con el ICA y el IMA



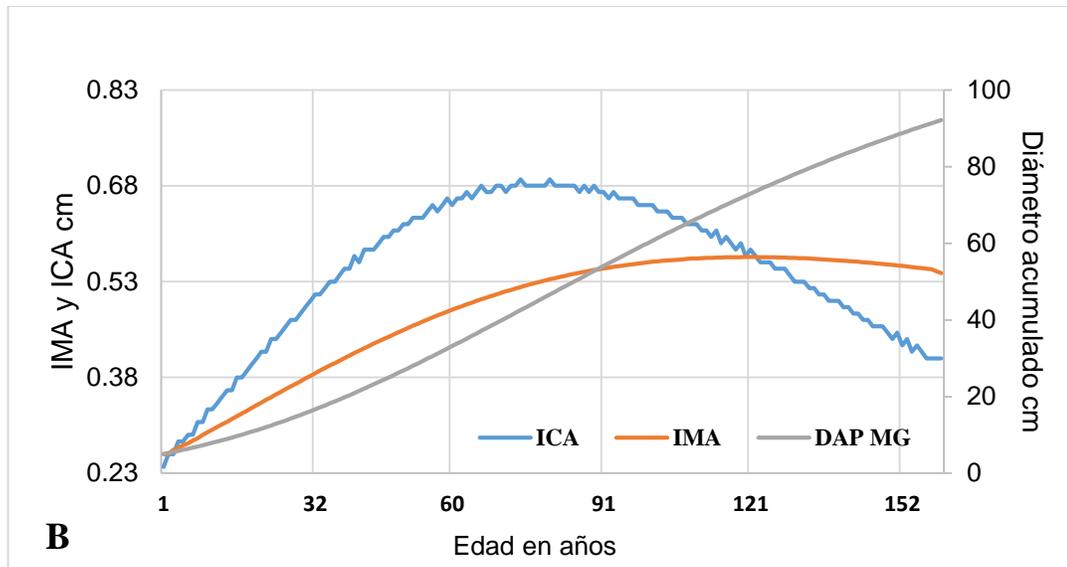
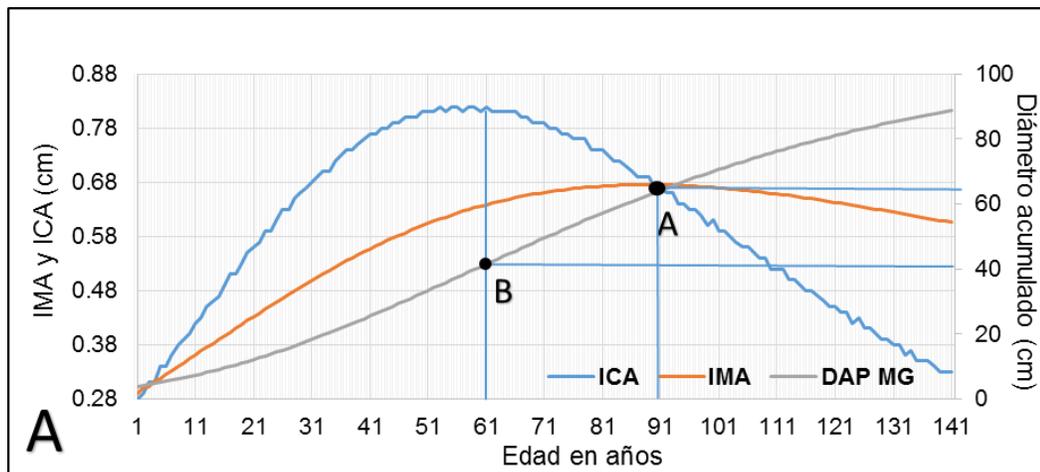


Figura 14. Modelos de crecimiento de *Swietenia macrophylla* A y *Carapa guianensis* B con estimación y modelación del ICA e IMA y el DAP modelado.

10.4. Estimación de turnos de corta

Considerando los modelos de crecimiento como herramienta que explica y proyecta el tiempo en años necesarios para que el árbol alcance el diámetro óptimo de aprovechamiento, se fijan los siguientes turnos biológicos:

De acuerdo Schöngart (2008), el periodo de aprovechamiento se establece entre los valores máximos del ICA e IMA; el modelo determina un periodo de aprovechamiento en *Swietenia macrophylla* de 55 y 85 años, tiempo en el que el árbol tendría un DAP de 40 a 60 cm. Lo modelado en *Carapa guianensis* describe el periodo del aprovechamiento entre los 70 a 120 años en donde el árbol alcanza un DAP de 40 a 70 cm; ver en Figura 15.



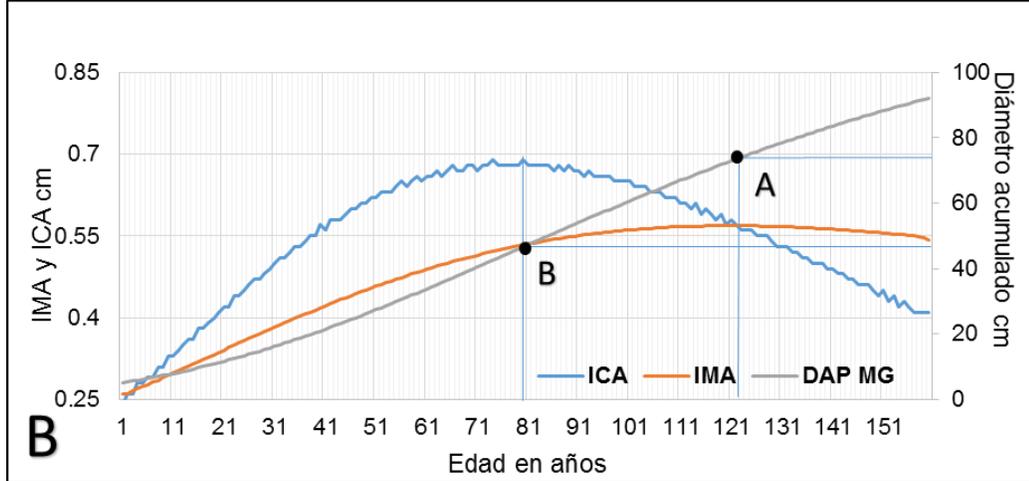


Figura 15. Periodos de aprovechamiento, A *Swietenia macrophylla* y B *Carapa guianensis*; donde A es el punto donde el IMA alcanza su máximo valor y B el punto donde el ICA alcanza su máximo valor; propuesto por Schöngart (2008).

- El turno al DMC que establece la ley nicaragüense en la NTON18.0001-12 (2013) para *Swietenia macrophylla*, se da a los 50 cm de DAP que alcanza a los 71 años de acuerdo con el modelo, cuando su IMA es de 0.66 cm por año.
- El turno biológico propuesto por Imaña y Encinas (2008) donde ocurre la intersección del ICA y IMA modelado para *Swietenia macrophylla* es de 89 años, el cual tiene un DAP de 63 cm y su IMA es de 0.66 cm por año.
- El turno biológico de acuerdo con lo propuesto por Schöngart (2008), donde se encuentra ICA máximo modelado en *Swietenia macrophylla*, es a los 61 años; donde el DAP es de solamente 41 cm; cuando su IMA es 0.63 cm por año.
- El turno al DMC que establece la ley nicaragüense en la NTON18.0001-12 (2013) para *Carapa guianensis* es a los 40 cm de DAP, el cual alcanza a los 70 años de acuerdo con el modelo; cuando su IMA es de 0.5 cm por año.
- El turno biológico propuesto por Imaña y Encinas (2008) donde ocurre la intersección del ICA y IMA modelado para *Carapa guianensis* es de 124 años, el cual tiene un DAP de 73 cm y su IMA es de 0.56 cm por año.
- El turno biológico de acuerdo con lo propuesto por Schöngart (2008) donde se encuentra ICA máximo modelado en *Carapa guianensis* es a los 80 años; donde el DAP es de solo 48 cm; cuando su IMA es 0.53 cm por año.

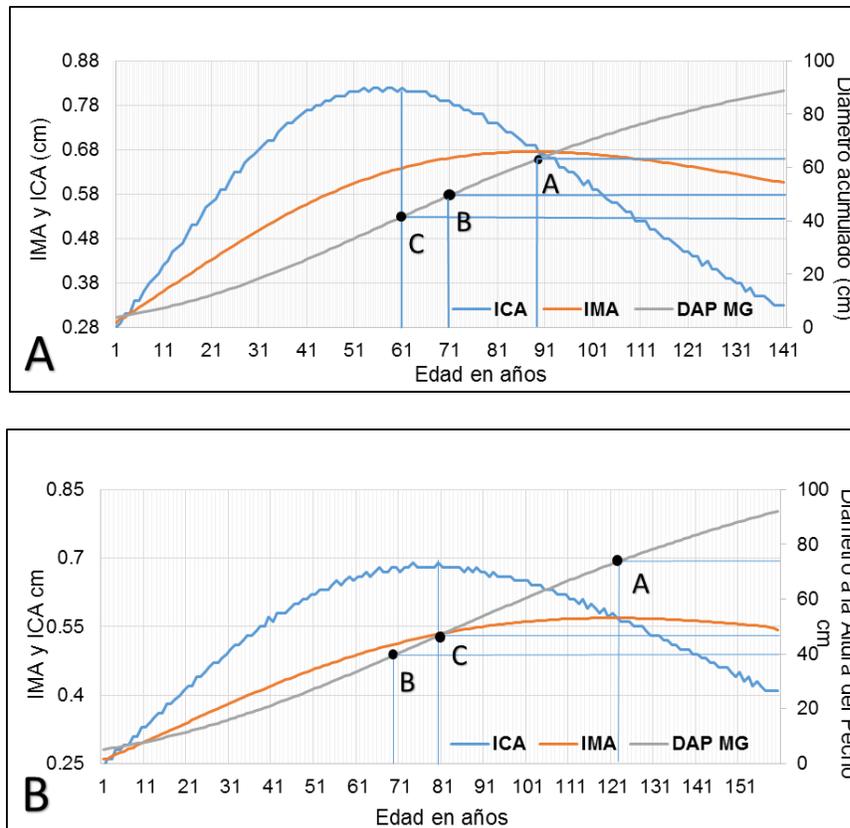


Figura 16. Turnos biológicos, A *Swietenia macrophylla* y B *Carapa guianensis*; donde A es el turno biológico que propone Imaña y Encinas (2008), B el turno al DMC establecido por la NTON 18-001-12 (2013) y C el propuesto por Schöngart (2008).

10.5. Análisis de correlación entre el crecimiento de los árboles y el clima

Para determinar si hay incidencia en el crecimiento de los árboles producto de la variabilidad climática, se realizó análisis de correlaciones entre los índices de ancho de anillo IAA generados para cada especie en el *software* ARSTAN y el clima. Los datos de clima comprenden la precipitación y temperatura que provienen de la estación meteorológica en Puerto Cabezas.

Se grafica la distribución de los IAA de las especies *Swietenia macrophylla* y *Carapa guianensis* junto a la precipitación anual PA y temperatura media anual TMA de los últimos 55 años registrados en la estación meteorológica de Puesto Cabezas; con la idea de ver en forma gráfica un patrón o comportamiento de correspondencia que pueda ser observado. Se encuentra que la correspondencia más marcada se da entre el IAA y la TMA para ambas especies; posteriormente, se hizo un análisis de correlación de Pearson entre los IAA para ambas especies y las variables climáticas.

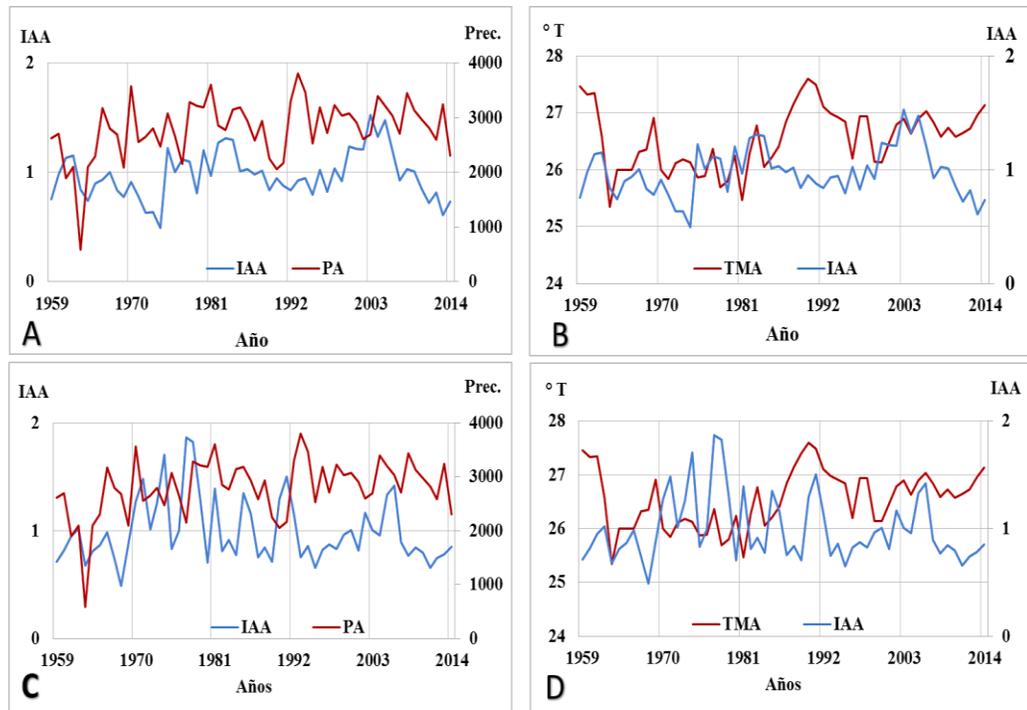


Figura 17. Comparaciones entre Índice de Ancho de Anillo IAA de *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* y las variables climáticas, Precipitación Anual PA y Temperatura Media Anual TMA. **A** Relación Precipitación Anual e Índice de Ancho de Anillo en *Swietenia macrophylla*; **B** Relación Temperatura Media Anual e Índice de Ancho de Anillo de *Swietenia macrophylla*; **C** Relación Precipitación Anual e Índice de Ancho de Anillo en *Carapa guianensis*; **D** Relación Temperatura Media Anual e Índice de Ancho de Anillo en *Carapa guianensis*

10.6. *Swietenia macrophylla*

Se hicieron análisis de correlación entre el índice de ancho de anillo IAA de *Swietenia macrophylla* y la precipitación anual, la precipitación mensual y la precipitación en función de la temporada seca, lluviosa y de transición, ver *Figura 18*; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Posteriormente, se realizaron correlaciones entre el IAA y la temperatura media anual, temperatura mensual y la temperatura agrupada en función de los meses de precipitación ver tablas de correlaciones con su p-valor asociado en *Anexo 13* y *Anexo 14*. Por último, se hacen correlaciones entre el IAA del año siguiente y las variables climáticas, ver *Figura 19*

La forma de agrupar los meses en temporada (seca o lluviosa) y de transición está supeditada a la cantidad de milímetros mensuales por encima o debajo de los 100 mm, ver *Cuadro 11*.

Cuadro 11. Clasificación precipitación y temperatura para correlacionarlo con IAA.

Forma de agrupar la precipitación y temperatura para estimación de correlaciones				
	Precipitación P	Temperatura °T	Meses	
Temporada	Lluviosa > 100 mm	°T de temporada lluviosa	de mayo a enero	9 meses
	Seca < 100 mm	°T de temporada seca	de febrero a abril	3 meses
	Seco-Lluviosa	°T de temporada Seca-Lluviosa	de abril a mayo	2 meses
Transición	Lluviosa-Seco	°T de temporada Lluviosa-Seca	de enero a febrero	2 meses
	Lluvia Temprana	°T de transición Lluvia temprana	de mayo a agosto	4 meses
	Lluvia Tardía	°T de transición Lluvia tardía	de septiembre a enero	5 meses

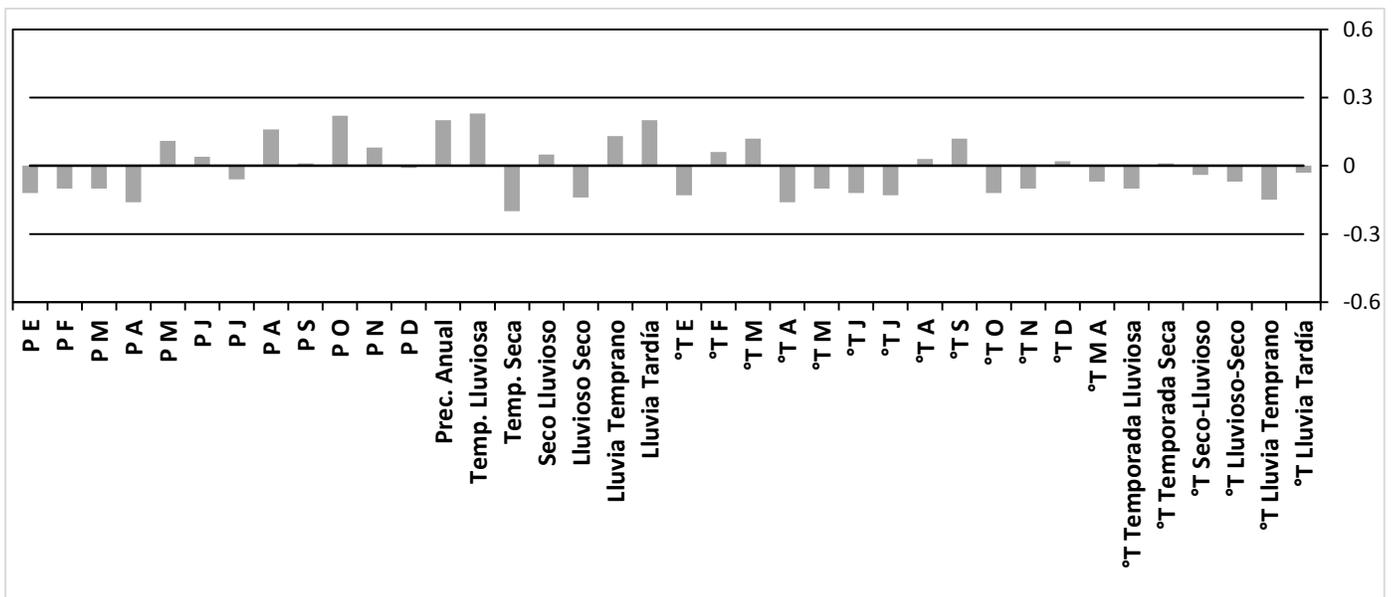


Figura 18. Análisis de correlación de Pearson entre el índice de ancho de anillo de *Swietenia macrophylla* y las variables climáticas (precipitación P, temperatura °T), mostrando correlaciones no significativas.

En el análisis de correlación de Pearson *Figura 18; Error! No se encuentra el origen de la referencia.* entre los IAA de *Swietenia macrophylla* y las variables de precipitación y temperatura -donde el eje Y indica del coeficiente de correlación Pearson y el eje X describe con barras el valor de la correlación alcanzados por cada variable-, las líneas horizontales paralelas al eje central de color gris indican el valor donde las correlaciones alcanzarían la significancia de un $\alpha=0.05$. Los valores de correlación están descritos en el *Anexo 13* y *Anexo 14* con su p-valor asociado.

Adicionalmente, se hicieron correlaciones en función de ver si las variables climáticas de un año presente alteraban la formación del anillo del año siguiente; ver *Figura 19* y la tabla con su p-valor asociado en el *Anexo 17* y *Anexo 18*.

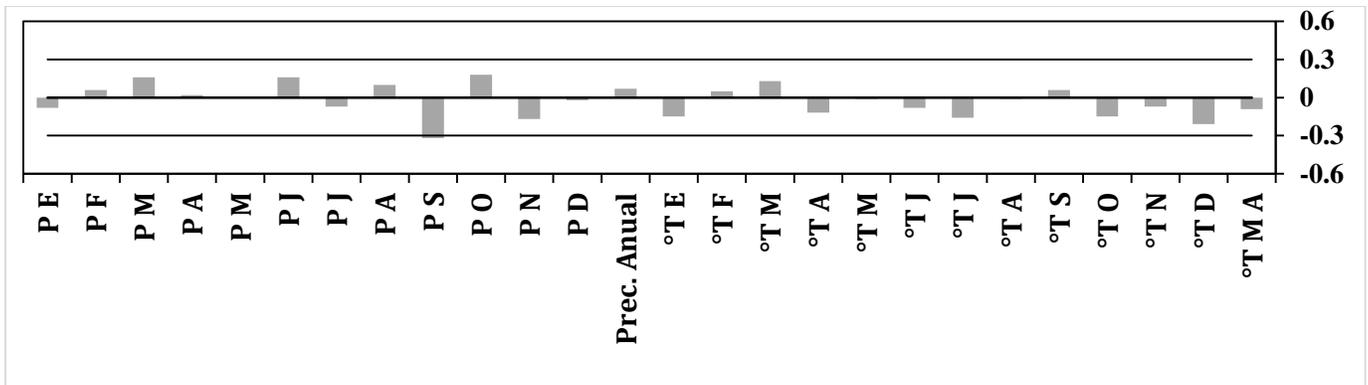


Figura 19. Análisis de correlación entre las variables climáticas (precipitación P, temperatura °T) y el IAA de *Swietenia macrophylla* del año subsecuente.

10.7. *Carapa guianensis*

Se correlacionó el índice de ancho IAA de anillo de *Carapa guianensis* y la precipitación anual, la precipitación media mensual y la precipitación en función de la temporada seca, lluviosa y de transición, ver

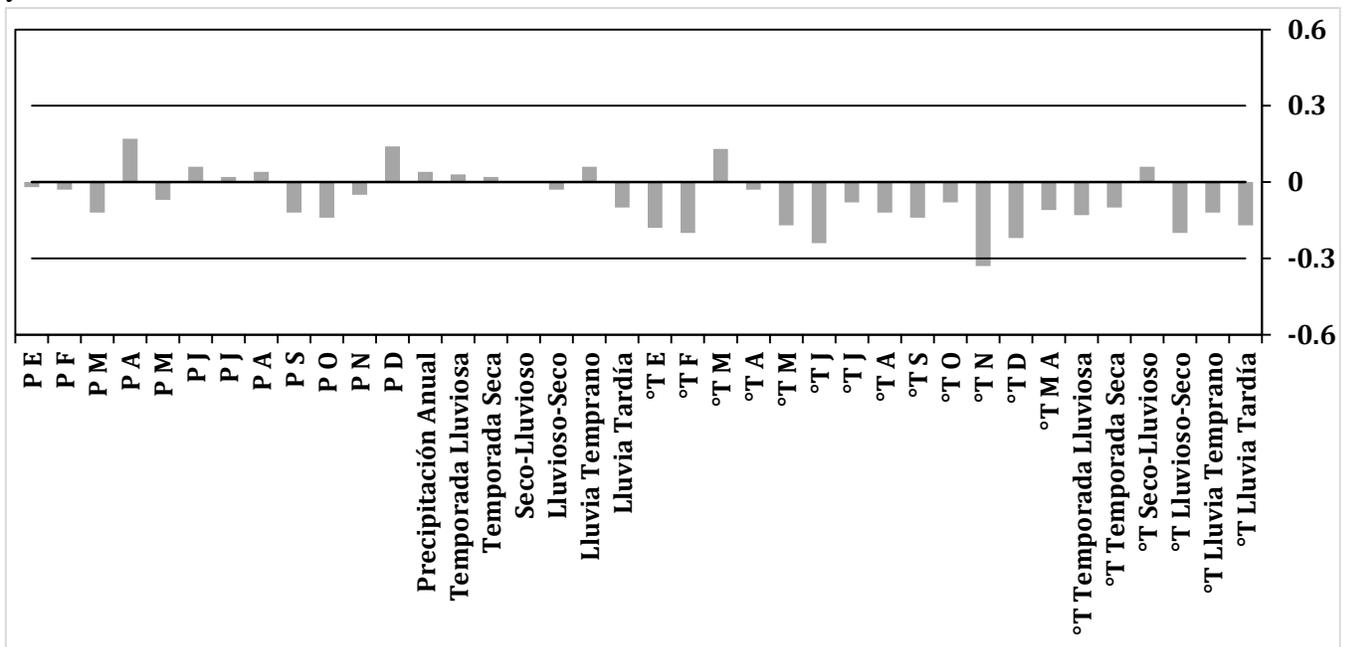


Figura 20. Posteriormente, se hicieron correlaciones entre el IAA y la temperatura media anual, temperatura mensual y la temperatura agrupada en función de los meses de precipitación; ver clasificación de temperatura en el Cuadro 11; ver tablas de correlaciones con su p-valor asociado en Anexo 15 y Anexo 16. Finalmente, se hacen correlaciones entre el IAA del año siguiente y las variables climáticas, ver Figura 21.

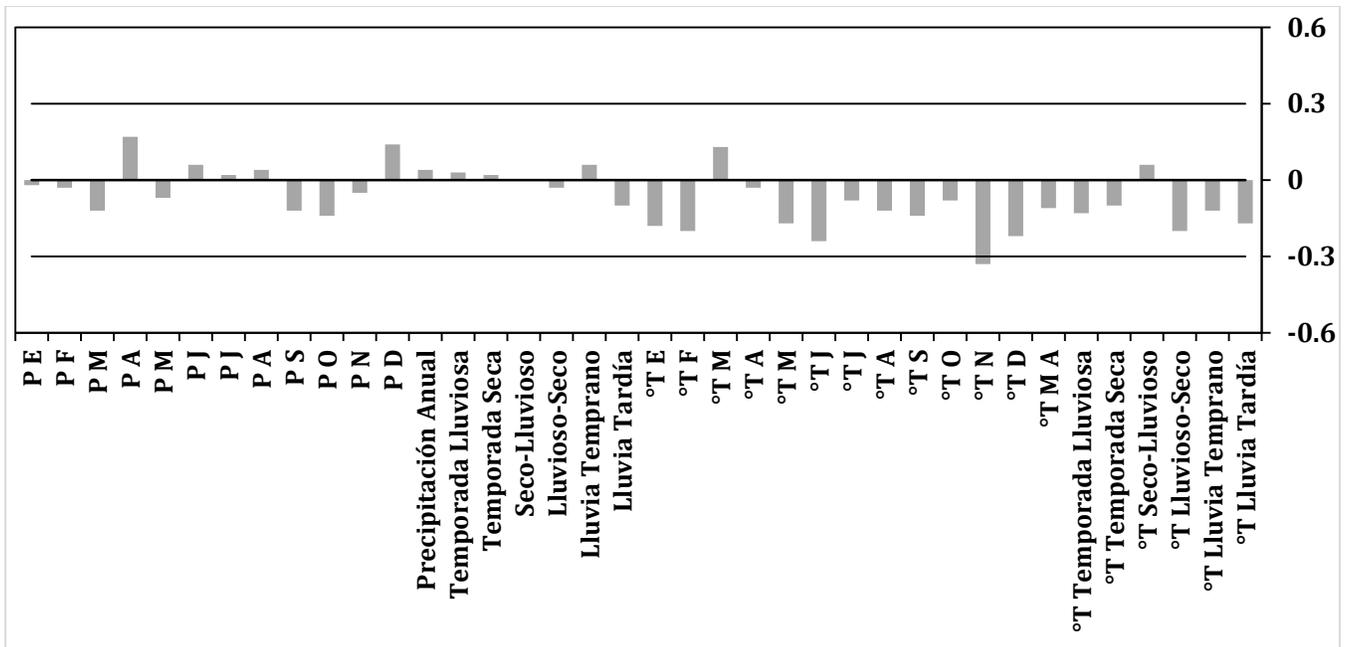


Figura 20 Análisis de correlación de Pearson entre el índice de ancho de anillo de *Carapa guianensis* y las variables climáticas (precipitación **P**, temperatura **°T**), con correlaciones significativas negativa con la temperatura del mes de noviembre.

Se presenta el análisis de correlación de Pearson (Figura 20) entre los IAA de *Carapa guianensis* y las variables de precipitación y temperatura, donde el eje Y indica el coeficiente de correlación Pearson y el eje X describe con barras el valor de la correlación alcanzados por cada variable. Se muestran las líneas horizontales paralelas al eje central de color gris, las cuales señalan el valor donde las correlaciones alcanzarían la significancia de un $\alpha=0.05$. Los valores de correlación están descritos en el Anexo 15 y Anexo 16 con su p-valor asociado. El análisis señala que existen correlaciones significativas entre el IAA de *Carapa guianensis* y noviembre.

Adicionalmente, se hicieron correlaciones en función de ver si las variables climáticas alteraban la formación del anillo del año siguiente; ver Figura 21, la tabla con su p-valor asociado en el Anexo 19 y Anexo 20.

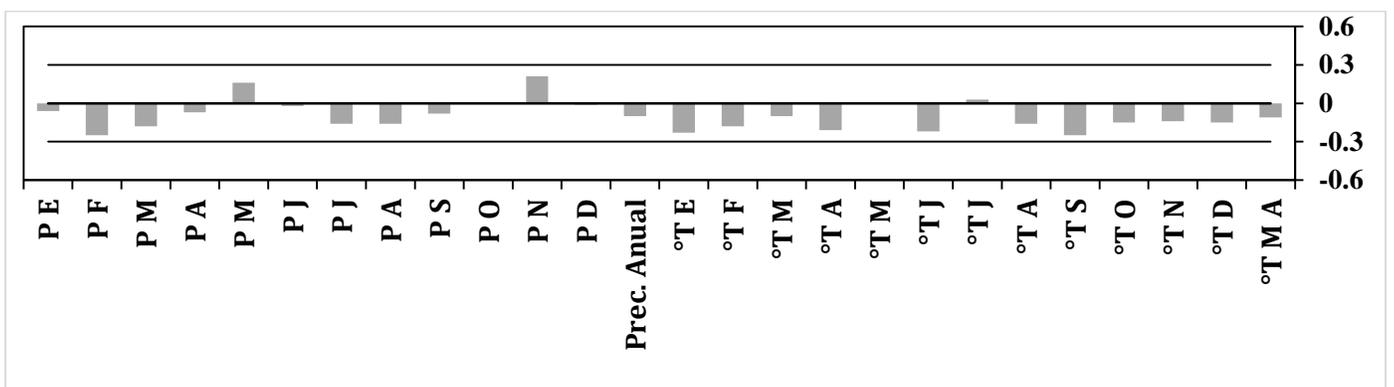
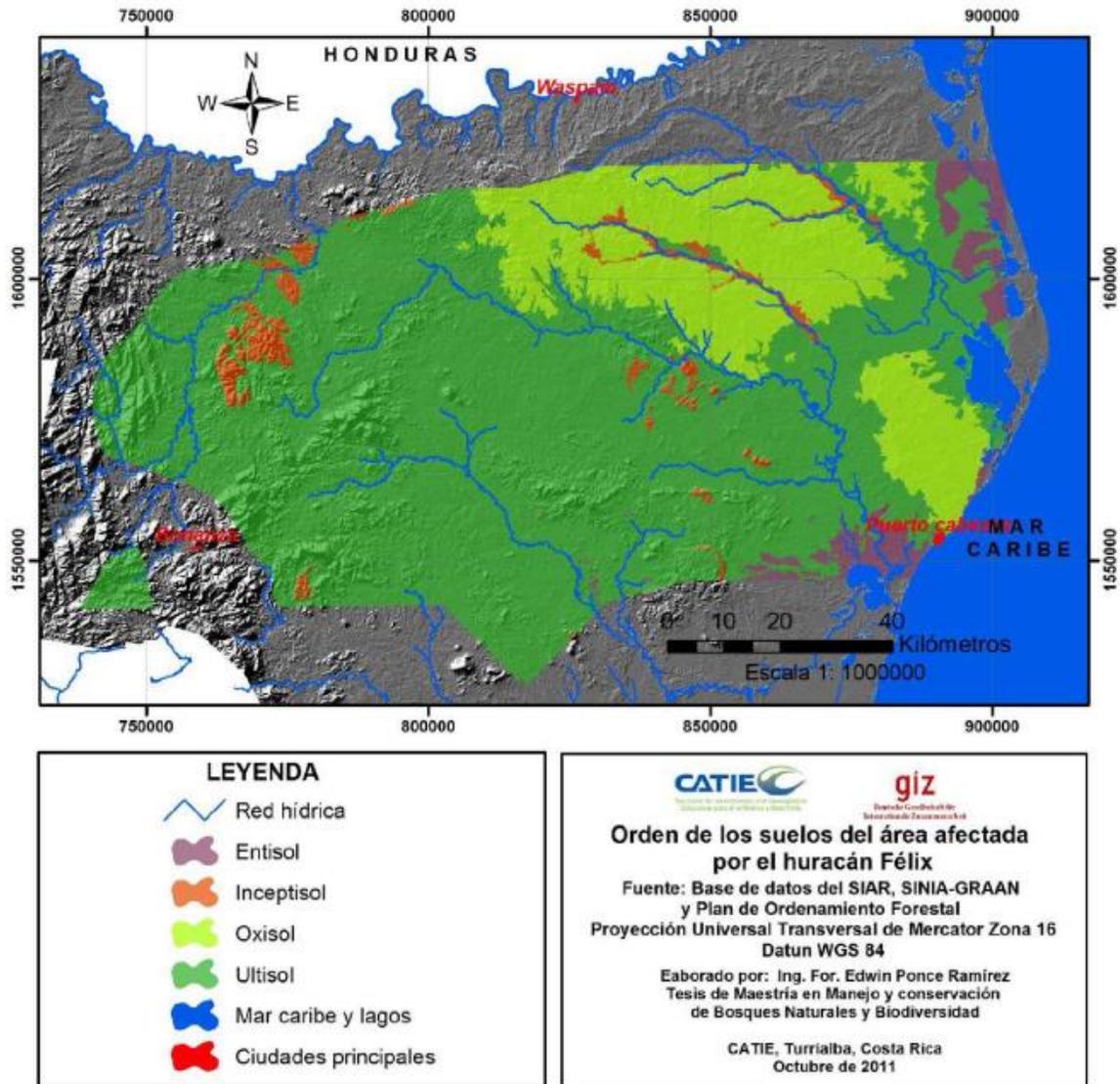


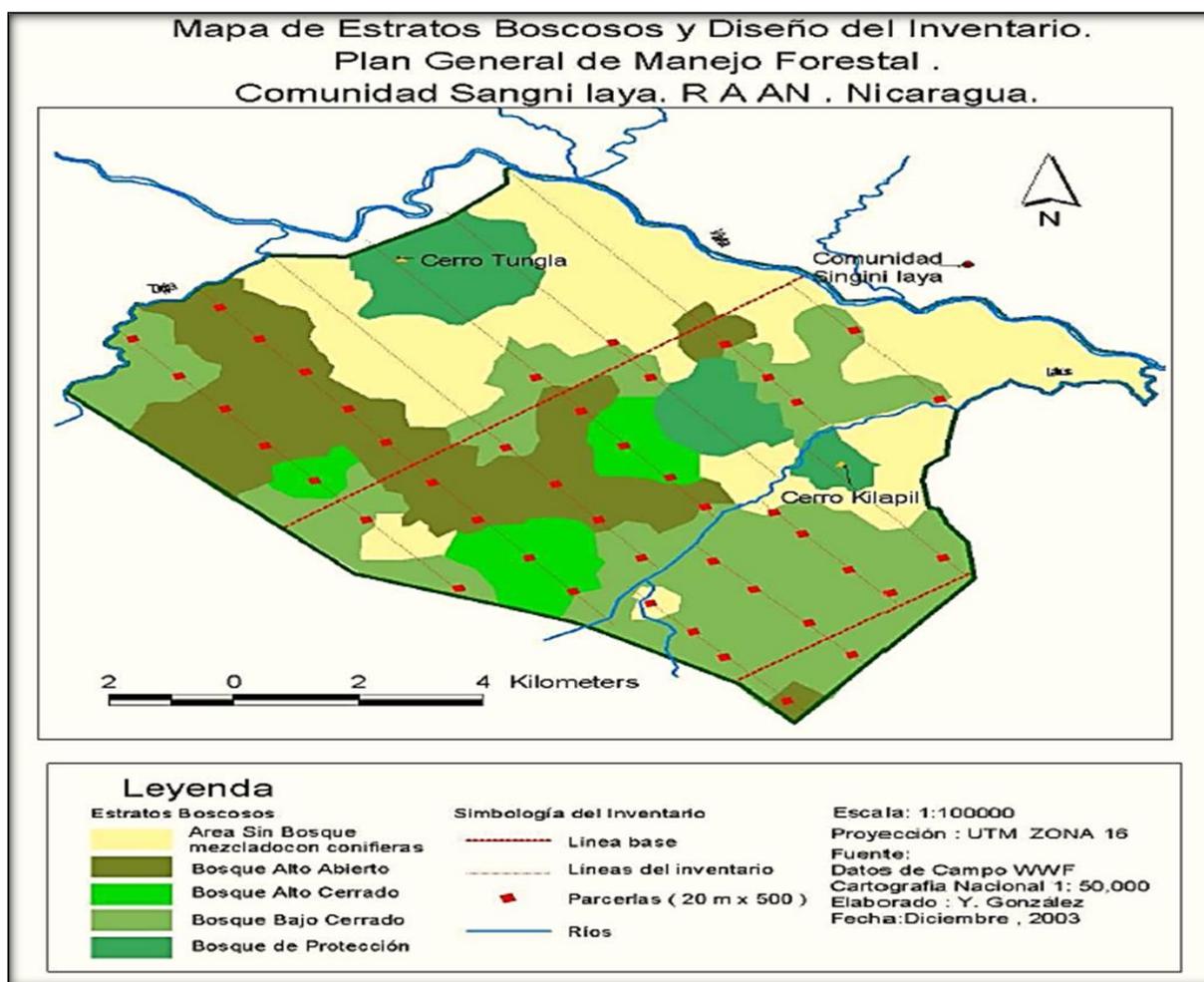
Figura 21 Análisis de correlación entre las variables climáticas (precipitación P, temperatura °T) y el IAA de *Carapa guianensis* del año siguiente.

Anexos

Anexo 1. Mapa de clasificación de suelos en la RACN



Anexo 4. Dirección de las trochas del AMFC Sagnilaya



Anexo 5. Clasificación por estratos del AMFC Sagnilaya

ESTRATO	TIPO DE BOSQUE	ÁREA (ha)	%
BAA	B: Bosque alto abierto	2648.443	20.6
BAC	A: Bosque alto cerrado	849.226	6.61
BBC	C: Bosque bajo cerrado	4133.502	32.19
AS	E: Área sin bosque	3445.758	26.8
PINO	Bosque de pino	600	4.7
BP	D: Bosque de protección	1165.43	9.07
Total		12842.359	100

Anexo 6. Tabla de temperaturas Estación Puerto Cabezas

DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL													
Estación:	PUERTO CABEZAS II / ATLANTICO NORTE				Código:	4702							
Departamento:	ATLANTICO NORTE				Municipio:	PUERTO CABEZAS II							
Latitud:	14°02'48"				Longitud:	83°22'30"							
Años	1959-2015				Elevación:	20 m snm							
Parámetro:	Temperatura Media (C°)				Tipo:	HMP							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1959				28.5	27.9	27.8	26.8	26.6	27.6	27.8	26.7		27.5
1960	25.8	26.8	26.4	26.3	28.1	27.4	27.0	28.2	28.3	28.1	28.0	27.5	27.3
1961	28.0	29.3	28.6	28.2		26.3	26.0	26.5	27.0	27.3	27.1	26.5	27.3
1962	26.5	26.8	27.8	28.2	27.3	26.7	27.0	27.2	27.2	25.2	24.6	24.4	26.6
1963	24.5	24.5	25.4	26.3	26.0								25.3
1964													26.0
1965													26.0
1966										27.1		24.9	26.0
1967	25.3	25.0	25.8		27.8	26.9	27.2	27.3	26.9	25.7	25.9	25.7	26.3
1968	25.0	24.3	25.6	26.7	27.5	27.3	27.4	27.5	27.0	26.4	25.9	25.6	26.4
1969	25.8	26.0	27.4	28.1	28.2	27.9	27.0	27.7	27.0	26.9	25.9	25.0	26.9
1970	24.9	25.0	26.5	27.6	26.8	26.7	26.3	26.6	25.7	26.6	24.4	24.9	26.0
1971	24.1	25.1	25.1	25.5	27.4	27.0	26.5	26.2	26.2	26.0	25.6	25.4	25.8
1972	25.0	24.8	25.7	26.8	27.0	27.2	27.0	26.2	26.4	25.8	26.0	25.4	26.1
1973	24.8	24.6	27.0	28.0	27.5	27.2	26.8	26.5	27.0	25.3	25.7	23.7	26.2
1974	24.9	24.7	25.5	26.8	27.3	27.7	26.9	26.8	26.8	24.9	25.1		26.1
1975	24.7	25.4	26.4	27.5	28.3	27.7	27.3	25.8	25.3	24.7	24.1	23.2	25.9
1976	23.3	23.8	25.7	26.0	26.9	26.2	27.0	27.0	26.9	26.4	25.8	25.6	25.9
1977	24.8	25.1	26.8	27.0	27.4	27.2	27.5	27.2	26.9	26.1	25.0	25.4	26.4
1978	24.6	25.0	25.7	26.1		27.0	26.0	26.6	26.1	25.5	25.3	24.7	25.7
1979	24.2	24.8	25.9	26.3	26.9	26.4	26.7	26.3	26.7	25.7	24.9	24.8	25.8
1980	25.1	24.9	26.5	27.0	27.8	27.3	27.2	27.1	26.7	26.1	24.9	24.3	26.2
1981	22.9	24.3	25.8	26.0	27.0		26.5	26.4	26.7	25.5	24.6	24.4	25.5
1982	25.1	25.1	26.7	27.1	26.7	27.2	26.8	27.0	26.8	25.9	25.8	25.1	26.3
1983	25.1	26.0	26.7	27.6	28.7	28.3	26.9	26.9	26.7	26.0	26.6	25.8	26.8
1984	24.4	25.4	25.9	27.2	27.7	27.5	26.2	26.5	26.8	25.7	24.4	24.9	26.1
1985	23.8	25.0	26.0	26.4	27.2	27.1	27.0	26.8	27.1	26.4	26.1	25.6	26.2
1986	24.5	25.6	25.3	26.6	27.7		27.2	27.6	26.8	26.4	26.7	26.1	26.4
1987	25.2	25.9	27.1	26.9	27.6	26.7	26.9	27.0	27.1	26.6	26.6	26.5	26.8
1988	25.4	25.6	26.8	27.8	28.5	27.7	27.9	28.2	27.5	27.1	27.3	26.0	27.2
1989	25.8		26.2	28.0	27.9	27.8	27.9	28.2	27.7	27.1			27.4
1990	26.7	26.9	27.3	28.2	28.2	28.2	28.0	27.8	27.8	28.1		26.3	27.6
1991	26.4	26.7	28.1	29.3	28.4	28.5	28.0			26.2		25.8	27.5
1992	26.3	26.0	26.9	27.8	27.0	28.3	27.3	27.5	27.2	27.3	27.2	26.5	27.1
1993	25.9	26.4	26.7	27.9	27.8	27.2	27.5	27.2	26.9	27.1	27.2	26.0	27.0
1994	26.2	26.2	27.4	28.3	28.3	27.9	27.1	27.3	26.9	26.5	25.6	25.3	26.9
1995	25.0	25.1	26.1	27.8	28.6	27.8	27.2	27.7	27.5	26.9		25.5	26.8
1996	24.6	25.1	25.8	27.8	27.3		27.0	26.7	26.9	26.6	25.3	25.0	26.2
1997	24.9	25.9	26.5	27.7	29.0	27.0	27.7	27.6	27.4	26.9	26.4	26.2	26.9
1998	26.4	26.5	26.6	27.8	28.2	27.7	27.2	27.8	28.3	25.6	25.7	25.4	26.9
1999	25.5	25.0	26.2	27.5	27.1	27.2	26.4	26.4	26.9	26.1	24.8	24.6	26.1
2000	24.4	24.8	26.3	26.7	27.4	27.0	26.7	27.3	26.8	25.4	26.0	24.8	26.1
2001	24.3	25.8	25.7	27.1	27.5	27.7	27.4	28.0	26.6	26.7	25.3	25.5	26.5
2002	25.4	25.8	26.7	27.4	27.6	28.0	27.4	27.3	27.7	26.0	26.2	25.9	26.8
2003	25.0	26.7	27.7	27.2	28.4	27.5	27.9	27.4	27.4	26.7	25.8	25.1	26.9
2004	25.2	26.0	26.3	27.1	27.5	27.0	27.3	27.5	27.7	26.9	25.7	25.4	26.6
2005	24.5	25.0	27.5	28.1	28.0	28.1	27.7	28.0	27.6	26.9	25.7	25.7	26.9
2006	25.6	25.8	26.9	27.9	28.7	28.0	27.4	27.9	27.1	27.2	26.0	25.9	27.0
2007	26.2	26.2	26.5	27.0	27.7	27.9	27.7	27.6	27.0	26.9	25.7	25.6	26.8
2008	25.5	26.0	26.0	27.4	27.8	27.7	26.7	27.5	27.6	26.3	25.1	25.4	26.6
2009	25.3	25.0	25.7	27.2	27.7	27.5	28.0	27.4	27.5	26.6	26.3	26.6	26.7
2010	25.2	26.2	26.3	27.9	28.3	27.6	27.1	27.0	27.7	26.4	25.3	23.9	26.6
2011	25.3	25.6	26.0	27.6	28.0	27.6	27.1	28.0	27.2	26.3	25.6	25.5	26.7
2012	25.3	25.8	26.7	26.9	27.7	28.2	28.0	27.4	26.8	26.6	25.6	25.7	26.7
2013	26.1	26.3	26.0	28.0	27.8	27.8	28.0	27.3	27.3	26.6	26.3	26.0	27.0
2014	25.4	26.2	27.3	28.1	28.2	28.0	28.4	28.0	27.0	26.9	26.4	25.7	27.1
2015	25.9	25.5	26.9										26.1
Suma	1336.0	1331.3	1402.4	1422.2	1413.3	1347.6	1413.1	1387.5	1379.7	1400.0	1238.2	1270.7	1512.6
Media	25.2	25.6	26.5	27.4	27.7	27.5	27.2	27.2	27.1	26.4	25.8	25.4	26.5
Max	28.0	29.3	28.6	29.3	29.0	28.7	28.4	28.2	28.3	28.1	28.0	27.5	27.6
Min	22.9	23.8	25.1	25.5	26.0	26.2	26.0	25.8	25.3	24.7	24.1	23.2	25.3

Anexo 7. Tabla de Precipitación Estación Puerto Cabezas

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL													
Estación:	PUERTO CABEZAS II / ATLANTICO NORTE					Código:	4702						
	Departamento: ATLANTICO NORTE					Municipio:	PUERTO CABEZAS II						
Latitud:	14°02'48"					Longitud:	83°22'30"						
Años:	1958-2015					Elevación:	20 msnm						
Parámetro:	Precipitación (mm)					Tipo:	HMP						
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
1958							1144.9	658.8	383.6	394.5	340.1	638.2	3560.1
1959						705.7	639.2	417.0	188.2	278.2	296.2	92.4	2616.9
1960	54.0	5.4	109.5	67.3	271.9	472.1	365.0	500.7	132.0	487.2	134.8	103.9	2703.8
1961	97.5	73.6	37.0	125.6	36.3	218.8	367.4	123.3	291.4	185.3	138.0	201.6	1895.8
1962	120.5	45.9	16.5	35.7	264.7	245.1	292.6	272.0	210.0	303.7	173.4	120.0	2100.1
1963	153.5	106.0	29.5	30.1	264.7								583.8
1964													
1965					165.8	430.6	150.0	455.5	265.5	392.5	251.0	187.5	2298.4
1966	328.5	62.5	173.5	12.5	150.0	989.0	371.5	228.0	446.0	132.5	166.0	112.0	3172.0
1967	215.0	234.5	86.5	33.0	55.5	497.5	338.0	240.5	181.5	441.5	211.0	267.0	2801.5
1968	51.5	41.0	44.0	24.0	269.5	360.5	297.5	379.5	242.0	381.5	217.5	378.5	2687.0
1969	101.2	37.5	44.0	3.0	159.0	31.0	222.0	208.5	291.0	289.3	508.5	194.7	2089.7
1970	313.5	111.7	27.1	22.2	147.8	545.5	649.5	454.0	464.5	303.0	345.0	186.5	3570.3
1971	175.5	48.6	44.1	63.8	213.8	441.9	368.5	187.8	382.5	243.0	189.8	199.4	2558.7
1972	81.0	79.3	12.1	92.7	160.9	169.9	544.9	424.2	292.5	159.4	417.8	215.2	2649.9
1973	79.2	25.6	26.0	16.4	151.6	258.0	678.2	364.3	242.9	522.8	285.8	147.7	2798.5
1974	284.9	116.1	92.3	41.9	125.6	224.9	324.8	207.0	187.2	560.4	159.9	148.8	2473.8
1975	179.8	35.3	36.8	15.5	53.5	129.1	179.3	481.0	617.2	622.3	544.8	175.9	3070.5
1976	152.1	97.7	37.0	88.5	474.9	624.4	173.7	155.6	241.4	212.1	273.9	125.9	2657.2
1977	62.0	90.8	6.2	115.8	199.1	485.1	130.5	212.2	102.9	276.4	282.0	192.6	2155.6
1978	67.2	52.2	80.3	90.0	254.0	468.5	678.9	502.6	326.4	165.6	299.0	304.1	3288.8
1979	59.9	79.1	94.2	222.0	205.7	403.4	327.8	558.3	146.8	278.8	363.7	473.8	3213.5
1980	122.4	33.7	33.4	48.7	215.5	550.5	323.9	294.5	633.7	390.1	328.5	211.7	3186.6
1981	21.6	125.7	56.8	115.2	213.2	657.3	732.6	456.0	278.6	462.4	233.2	252.3	3604.9
1982	171.2	117.7	65.6	21.1	413.1	167.5	522.2	458.7	331.0	231.0	191.2	161.7	2852.0
1983	167.6	84.9	21.2	13.4	24.3	353.4	633.6	561.2	218.4	333.2	139.0	218.2	2768.4
1984	113.3		150.5	2.1	242.3	341.4	449.9	467.3	295.9	538.8	384.8	162.2	3148.5
1985	148.7	113.7	36.5	76.7	162.3	631.4	379.1	486.2	208.9	562.0	184.8	200.1	3190.4
1986	61.0	32.0	73.9	75.6	217.1	371.1	565.6	501.4	422.0	350.3	266.9	266.9	2936.9
1987	43.0	7.6	0.7	20.2	129.5	332.7	821.4	466.2	309.1	169.7	118.8	162.0	2580.9
1988	257.1	115.0	8.9	29.8	168.3	286.6	324.3	501.2	332.0	542.9	203.9	171.0	2941.0
1989	214.9	0.4	27.3	18.8	339.0	166.8	660.2	232.0	276.4	317.1			2252.9
1990	306.3	105.1	39.5	110.2	177.1	322.9	294.2	410.5	288.5				2054.3
1991	95.1	36.1	23.4	32.3	283.4	284.4	187.6		479.8	195.0	344.4	202.5	2164.0
1992	74.3	97.9	38.5	14.6	162.8	441.2	912.3	430.0	360.8	315.8	258.3	195.8	3302.3
1993	210.3	39.9	28.1	105.4	425.0	831.9	408.7	498.1	585.2	332.8	217.5	124.7	3807.6
1994	101.3	140.0	16.7	25.8	492.2	233.4	561.6	363.1	414.7	407.2	600.1	104.9	3461.0
1995	106.3	58.8	78.6	142.7	37.1	428.9	619.9	275.5	265.7	358.7			2529.0
1996	102.3	157.7	57.9	26.2	415.7		437.0	448.4	369.3	507.0	438.8	222.8	3183.1
1997	268.7	101.8	55.3	10.1	13.5	857.8	222.5	226.4	247.6	212.4	477.1	21.7	2714.9
1998	41.9	5.9	80.9	8.7	460.3	493.0	310.1	64.8	73.9	781.9	555.8	351.2	3228.4
1999	183.8	244.7	93.7	22.8	225.1	370.0	476.1	394.3	263.6	363.5	235.5	157.4	3030.5
2000	78.9	140.3	51.2	74.6	225.8	569.4	433.1	307.9	269.8	528.3	97.2	298.5	3075.0
2001	90.2	68.0	24.0	33.1	103.6	146.9	276.7	298.0	381.3	934.5	238.9	309.6	2904.8
2002	193.8	38.5	36.0	37.1	284.1	199.3	397.4	561.1	105.1	453.7	179.0	120.2	2605.3
2003	163.4	90.9	12.0	37.9	147.4	488.3	226.7	305.7	303.6	404.2	370.6	140.6	2691.3
2004	53.4	110.5	167.6	18.9	357.2	817.9	321.1	473.0	81.9	410.0	382.1	205.6	3399.2
2005	140.3	15.4	19.6	34.9	376.0	364.6	435.0	286.9	251.6	423.3	644.5	215.8	3207.9
2006	190.1	84.7	35.7	9.8	80.8	460.7	663.2	349.6	453.6	198.3	216.5	292.3	3035.3
2007	111.3	24.4	131.5	210.9	81.6	289.3	561.7	287.7	387.9	182.0	303.2	138.5	2710.0
2008	275.8	134.2	41.0	71.4	259.8	335.5	724.3	247.4	307.4	577.5	344.5	125.3	3444.1
2009	88.1	111.1	63.3	122.7	74.9	519.5	293.5	491.1	313.0	692.0	289.2	66.6	3125.0
2010	120.9	17.3	16.7	130.0	369.2	373.3	592.0	568.3	238.4	124.6	325.8	95.2	2971.7
2011	122.0	198.4	147.6	42.4	202.0	389.1	421.5	207.4	436.5	290.1	186.6	176.6	2820.2
2012	274.0	134.5	45.7	105.3	238.9	183.3	253.6	276.1	398.1	217.0	345.9	119.4	2591.8
2013	169.5	91.0	134.4	34.4	211.4	519.9	267.6	387.5	274.0	379.9	311.1	456.4	3237.1
2014	156.1	85.8	16.4	43.5	131.6	340.7	120.3	172.5	346.7	398.0	287.4	199.7	2298.7
2015	154.2	100.1	79.7										334.0
Suma	7769.9	4406.5	3006.4	3027.3	11585.4	21449.8	23880.2	19851.0	16918.9	20286.9	15382.7	10769.9	158334.9
Media	143.9	83.1	55.7	57.1	214.5	412.5	434.2	367.6	307.6	375.7	295.8	203.2	2777.8
Max	328.5	244.7	173.5	222.0	492.2	989.0	1144.9	658.8	633.7	934.5	644.5	638.2	3807.6
Min	21.6	0.4	0.7	2.1	13.5	31.0	120.3	64.8	73.9	124.6	97.2	21.7	334.0

Anexo 8. Tabla de datos cedro macho Layasiksa

Árbol	Especie		x	y	msnm	DAP	Alt árbol	Exposición Copa		Forma Copa		Drenaje		Profundidad			Prom Prof	% Pend	Sitio
	Nombre	#						Descr.	#	Descr.	#	Descr.	#	1	2	3			
Lay01	Cedro Macho	2	131515.6	840926.6		59	38	Emergente	1	Irregular	1	Muy Bueno	1	3.5	6.5	8.5	6.166667	10	1
Lay02	Cedro Macho	2	135170.3	840919.5	82	65	56	Emergente	1	Circular irregular	2	Muy Bueno	1	5	9	6	6.666667	5	1
Lay03	Cedro Macho	2	135107.3	840919.5	80	85	68	Emergente	1	Circular irregular	2	Muy Bueno	1	8	6	7	7	2	1
Lay04	Cedro Macho	2	135107.7	840920.2	82	79.4	62	Emergente	1	Medio completa	3	Muy Bueno	1	6.5	5.5	10.5	7.5	2	1
Lay05	Cedro Macho	2	135108.5	840919.5		60.2	59	Emergente	1	Circular irregular	3	Muy Bueno	1	13	11.5	17	13.833333	2	1
Lay06	Cedro Macho	2	135109.3	840919.8		33.6	42	Emergente	1	Circular irregular	2	Regular	3	6.5	17	9	10.833333	0	1
Lay07	Cedro Macho	2	135109.9	840920.3		35.5	46	Plena Vertical	2	Circular irregular	2	Regular	3	9	4	5	6	0	1
Lay08	Cedro Macho	2	135110.1	840920.6		92	64	Emergente	1	Irregular	1	Bueno	2	9	5	5.5	6.5	2	1
Lay09	Cedro Macho	2	135108.2	840922.2	60	62	57	Emergente	1	Circular irregular	2	Muy Bueno	1	8.5	10.5	10	9.666667	4	1
Lay10	Cedro Macho	2	135108.3	840921.6	62	88.5	68	Emergente	1	Circular irregular	2	Bueno	2	6.5	6	8.5	7	1	1
Lay11	Cedro Macho	2	135114.3	840920.2	57	50	48	Vertical Parcial	3	Circular irregular	2	Regular	3	14.5	8	7.5	10	0	1
Lay12	Cedro Macho	2	135114.3	840920.2	57	93	72	Emergente	1	Circular irregular	2	Bueno	2	11	11.5	12.5	11.666667	0	1
Lay31	Cedro Macho	2	134951.7	840532.7	47	76	32	Emergente	1	Irregular	1	Muy Bueno	1				0	35	3
Lay32	Cedro Macho	2	134952.6	840532.7	38	65	52	Emergente	1	Irregular	1	Bueno	2	8	6	5	6.333333	0	3
Lay33	Cedro Macho	2	134952.2	840530.8	38	57	63	Emergente	1	Irregular	1	Muy Bueno	1	4.5	7	8	6.5	5	3
Lay34	Cedro Macho	2	134952.1	840539.3	38	87	52	Emergente	1	Circular irregular	2	Muy Bueno	1	5	9	7	7	37	3
Lay35	Cedro Macho	2	134953.5	840541.8	31	56	43	Emergente	1	Circular irregular	2	Bueno	2	5	5.5	10	6.833333	0	3
Lay36	Cedro Macho	2	134954	840543.2	37	47	48	Emergente	1	Medio completa	3	Bueno	2	8	8	8.5	8.166667	0	3
Lay37	Cedro Macho	2	134954	840543.2	42	88	62	Emergente	1	Irregular	1	Bueno	2	6	7	5	6	0	3
Lay38	Cedro Macho	2	135017.5	840533	44	62	34	Plena Vertical	2	Irregular	1	Muy Bueno	1	8	5.5	6	6.5	30	3
Lay39	Cedro Macho	2	135022.9	840534.3	42	53	40	Emergente	1	Irregular	1	Muy Bueno	1	7	6.5	8	7.166667	7	3
Lay40	Cedro Macho	2	135037.3	840533.7	50	52	32	Emergente	1	Irregular	1	Bueno	2	6	5.5	7	6.166667	0	3

Anexo 9. Tabla de datos caoba Layasiksa

Árbol	Especie		x	y	msnm	DAP	Alt árbol	Exposición Copa		Forma Copa		Drenaje		Profundidad			Prom Prof	% Pend	Sitio
	Nombre	#						Descr.	#	Descr.	#	Descr.	Descr.	#	1	2			
Lay13	Caoba	1	135056	840935.9	164	103.5	64	Emergente	1	Circular irregular	2	Muy Bueno	1	8	11	7.5	8.833333333	20	1
Lay14	Caoba	1	135054.5	840936	192	160	68	Emergente	1	Circular irregular	2	Muy Bueno	1	4.5	4	11	6.5	36	1
Lay15	Caoba	1	135054	840934.8	161	54	41	Emergente	1	Circular irregular	3	Muy Bueno	1	14	10.5	5	9.833333333	30	1
Lay16	Caoba	1	135053.5	840936.4	224	84	46	Emergente	1	Circular irregular	3	Muy Bueno	1	5.5	5	8	6.166666667	20	1
Lay17	Caoba	1	134852	840507.5	54	40	36	Emergente	1	Regular	1	Regular	3	12	9	10	10.33333333	0	2
Lay18	Caoba	1	134853.9	840509.3	55	59	50	Emergente	1	Circular irregular	3	Regular	3	9.5	9.5	14	11	0	2
Lay19	Caoba	1	134853.6	840512.8		51	42	Emergente	1	Circular irregular	3	Bueno	2	13.5	12.5	12.5	12.83333333	0	2
Lay20	Caoba	1	134855	840517	84	49	38	Emergente	1	Regular	1	Bueno	2	8	7.5	6.5	7.333333333	0	2
Lay21	Caoba	1	134840.3	840552.3	52	38	35	Emergente	1	Circular irregular	3	Bueno	2	8.5	5	4	5.833333333	0	2
Lay22	Caoba	1	134836.5	840555	79	89	39	Emergente	1	Circular irregular	3	Bueno	2	6	8	9.5	7.833333333	0	2
Lay23	Caoba	1	134831.3	840619.4	62	40	32	Emergente	1	Regular	1	Muy Bueno	1	4	3	4	3.666666667	8	2
Lay24	Caoba	1	134832.9	840619.7	52	35	33	Emergente	1	Circular irregular	2	Bueno	2	10	17	7	11.33333333	0	2
Lay25	Caoba	1	134832.9	840619.7	52	41.5	40	Emergente	1	Regular	1	Bueno	2				0	0	2
Lay26	Caoba	1	134813.3	840616.9	40	41	32	Emergente	1	Circular irregular	3	Bueno	2	10	9	12	10.33333333	0	2
Lay27	Caoba	1	134813.3	840615.6	57	37	28	Emergente	1	Circular irregular	3	Bueno	2				0	2	2
Lay28	Caoba	1	134811.2	840600.3	54	44	48	Emergente	1	Circular irregular	3	Bueno	2	6	6.5	7.5	6.666666667	0	2
Lay29	Caoba	1	134812.5	840559.9	43	32	28	Emergente	1	Regular	1	Muy Bueno	1	6	9	8	7.666666667	5	2
Lay30	Caoba	1	134813.9	840600.3	42	52	42	Emergente	1	Circular irregular	2	Bueno	2	6	10	8	8	0	2

Anexo 10. Tabla de datos cedro macho Butku

Árbol	Especie		x	y	msnm	DAP	Alt árbol	Exposición Copa		Forma Copa		Drenaje		Profundidad			Prom Prof	% Pend	Sitio
	Nombre	#						Descr.	#	Descr.	#	Descr.	#	Descr.	1	2			
But01	Cedro Macho	2	141206.2	834258.2	71	91	48	Emergente	1	Circular irregular	2	Bueno	2	10	9.5	7	8.833333333	0	4
But02	Cedro Macho	2	141203.1	834259.5	99	73	37	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	13	10	9	10.6666667	0	4
But03	Cedro Macho	2	141159.2	834259.4	56	88	39	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	10	9	8	9	0	4
But04	Cedro Macho	2	141159.4	834260	46	85	34	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	7	7.5	7	7.1666667	0	4
But05	Cedro Macho	2	141162	834308	37	56	32	Plena Vertical	2	regular	1	Bueno	2	8	8.5	7.5	8	0	4
But06	Cedro Macho	2	141159.8	834259.8	32	60	30	Emergente	1	Circular irregular	2	Bueno	2	7	7	6.5	6.833333333	0	4
But07	Cedro Macho	2	141200.3	834301	43	70	28	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	9	8	11	9.333333333	0	4
But08	Cedro Macho	2	141154.4	834300.4	51	103	41	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	12.5	10	9	10.5	0	4
But09	Cedro Macho	2	141167.3	834307.1	12	62	37	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	6.5	7	8	7.1666667	0	4
But10	Cedro Macho	2	141154.8	834302.3	40	70	34	Plena Vertical	2	Medio completa	3	Bueno	2	5	7	10	7.333333333	0	4
But11	Cedro Macho	2	141150.6	834301.6	46	73	38	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	6	8	8.5	7.5	0	4
But12	Cedro Macho	2	141148.9	834301.5	60	57	37	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	8	7	9	8	0	4
But13	Cedro Macho	2	141216.1	834314.1	47	31	16	Emergente	1	regular	1	Muy Bueno	1	5.5	6	7	6.1666667	5	4
But14	Cedro Macho	2	141216.1	834314.1	70	42	18	Emergente	1	regular	1	Muy Bueno	1	5	5	7.5	5.833333333	5	4
But15	Cedro Macho	2	141214.9	834315.6	71	110	39	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	8	8.5	10	8.833333333	5	4
But16	Cedro Macho	2	141213.9	834315.7	67	60	36	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	10	8	7.5	8.5	2	4
But17	Cedro Macho	2	141210.4	834313.3	54	91	39	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	6.5	7	8	7.1666667	2	4
But18	Cedro Macho	2	141213.4	834308.8	16	66	36	Emergente	1	regular	1	Bueno	2	8	11	9	9.333333333	2	4
But19	Cedro Macho	2	141209.8	834310.1	30	65	41	Emergente	1	regular	1	Muy Bueno	1	7	9	7	7.6666667	5	4
But20	Cedro Macho	2	141204.1	834305.5	64	47	32	Emergente	1	Medio completa	3	Bueno	2	7.5	11	9.5	9.333333333	0	4

Anexo 11. Análisis COFECHA; correlación entre núcleos de *Swietenia macrophylla*

No. Seq	No. Series	Interval		No. Years	No. Segmt	No. Flags	corr with Master	Mean msmt	Max msmt	Std dev	Auto corr	Mean sens	Max value	Std dev	Auto corr	AR ()
1	Lay17-A	1985	2014	30	1	1	0.06	5.03	10.49	2.336	0.025	0.503	2.64	0.71	-0.041	2
2	Lay17-B	1986	2014	29	1	1	0.292	4.25	7.63	1.709	-0.047	0.529	2.65	0.634	0.034	1
3	Lay19-A	1989	2014	26	1	1	0.197	8	20.42	5.219	0.658	0.408	2.58	0.509	-0.202	1
4	Lay19-B	1999	2014	16	1	1	0.158	7.13	13.98	4.899	0.827	0.421	2.43	0.558	0.549	2
5	Lay20-A	1950	2014	65	2	1	0.298	3.2	7.84	1.738	0.431	0.477	2.74	0.621	-0.049	1
6	Lay20-B	1966	2014	49	1	0	0.396	3.16	6.86	1.557	0.195	0.562	2.57	0.585	-0.104	1
7	Lay21-A	1984	2014	31	1	0	0.456	3.65	7.55	1.74	0.401	0.448	2.81	0.605	-0.021	1
8	Lay21-B	1983	2014	32	1	1	0.196	3.77	8.33	1.858	0.482	0.374	2.76	0.656	0.034	1
9	Lay22-A	1941	2014	74	3	2	0.331	3.01	6.32	1.405	0.168	0.509	2.56	0.53	-0.065	2
10	Lay22-B	1940	2014	75	3	3	0.276	2.92	5.97	1.376	0.274	0.456	2.81	0.643	0.031	1
11	Lay23-A	1979	2014	36	1	0	0.475	3.04	5.87	1.137	0.322	0.375	2.71	0.566	-0.041	1
12	Lay23-B	1978	2014	37	1	0	0.415	3.43	6.88	1.291	0.057	0.401	2.73	0.491	0.025	1
13	Lay24-A	1986	2014	29	1	1	0.26	3.46	5.63	0.843	0.066	0.252	2.69	0.601	-0.056	1
14	Lay24-B	1986	2014	29	1	1	0.27	3.37	5.13	0.879	-0.027	0.273	2.7	0.725	-0.057	1
15	Lay25-A	1970	2014	45	1	1	0.278	3.02	5.07	1.007	0.146	0.376	2.67	0.753	-0.103	1
16	Lay25-B	1983	2014	32	1	1	0.356	2.78	4.74	0.931	0.243	0.355	2.55	0.586	-0.045	2
17	Lay26-A	1947	2014	68	3	0	0.397	2.55	5.5	1.029	0.468	0.354	2.58	0.434	0.044	2
18	Lay26-B	1950	2013	64	2	2	0.32	2.54	5.71	0.961	0.34	0.346	2.83	0.657	0.023	1
19	Lay27-A	1983	2014	32	1	1	0.137	2.78	7.62	1.188	0.329	0.295	3.07	0.517	-0.048	1
20	Lay27-C	1976	2014	39	1	1	0.147	2.81	7.45	1.077	0.237	0.312	3.14	0.58	0.015	1
21	Lay28-A	1964	2014	51	1	1	0.425	2.58	5.09	1.079	0.334	0.378	2.55	0.476	-0.022	1
22	Lay28-B	1955	2014	60	1	0	0.387	2.49	5.75	1.056	0.421	0.325	2.66	0.462	-0.025	2
23	Lay29-A	1984	2014	31	1	1	0.269	3.35	8.14	1.658	0.504	0.356	2.78	0.637	-0.055	1
24	Lay29-B	1981	2014	34	1	1	0.273	3.28	7.33	1.658	0.598	0.393	2.5	0.667	0	1
25	Lay29-C	1980	2014	35	1	1	0.248	3.04	8.32	1.669	0.415	0.533	2.51	0.437	-0.063	1
26	Lay30-A	1949	2014	66	3	1	0.323	2.67	6.3	1.174	0.531	0.359	2.72	0.531	-0.035	1
27	Lay30-B	1948	2014	67	3	3	0.246	2.81	6.5	1.146	0.225	0.391	2.68	0.577	0.061	2
Total or mea:				1182	39	27	0.305	3.21	20.42	1.445	0.316	0.402	3.14	0.577	-0.015	

Anexo 12. Análisis COFECHA; correlación entre núcleos de *Carapa guianensis*

No.	No.	Interval		No.	No.	No.	corr with	Mean	Max	Std	Auto	Mean	Max	Std	Auto	AR
Seq	Series	Years	Segmt	Flags	Master	msmt	msmt	msmt	dev	corr	sens	value	dev	corr	()	
1	But01-A	1926	2014	89	3	0	0.771	3.1	6.5	1.28	0.23	0.389	2.66	0.43	-0.03	1
2	But01-B	1934	2014	81	3	0	0.766	3.1	8.6	1.35	0.304	0.391	2.83	0.54	-0.08	2
3	But02-A	1974	2014	41	1	0	0.374	3.0	7.0	1.49	0.48	0.399	2.53	0.52	-0.08	4
4	But02-B	1966	2014	49	1	0	0.576	3.2	8.7	1.76	0.353	0.416	3.01	0.77	0.05	1
5	But03-A	1947	2014	68	3	1	0.337	2.9	7.1	1.21	0.337	0.352	2.86	0.57	0.01	1
6	But03-B	1961	2014	54	2	1	0.312	3.1	7.2	1.42	0.228	0.442	2.71	0.56	0.1	1
7	But04-A	1934	2014	81	3	0	0.659	3.0	8.2	1.30	0.31	0.338	2.92	0.6	-0.01	1
8	But04-B	1933	2014	82	3	0	0.524	3.1	7.2	1.35	0.277	0.406	2.5	0.4	-0.01	1
9	But05-A	1965	2014	50	1	0	0.741	3.3	7.2	1.46	0.369	0.331	2.8	0.56	-0.02	1
10	But05-B	1969	2014	46	1	0	0.614	3.2	6.8	1.45	0.384	0.342	2.75	0.54	-0.15	3
11	But06-A	1956	2014	59	2	0	0.607	3.2	7.4	1.43	0.449	0.335	2.58	0.52	-0.02	2
12	But06-B	1964	2014	51	2	0	0.641	3.2	6.8	1.42	0.356	0.398	2.75	0.71	0	1
13	But07-A	1945	2014	70	3	0	0.738	3.0	6.9	1.16	0.409	0.29	2.67	0.56	-0.02	1
14	But07-B	1935	2014	80	3	0	0.689	3.1	7.4	1.17	0.439	0.296	2.73	0.48	-0.05	2
15	But08-A	1973	2014	42	1	0	0.685	3.1	6.5	1.29	0.184	0.356	2.88	0.54	-0.03	1
16	But08-B	1953	2014	62	2	0	0.551	3.3	8.0	1.42	0.3	0.381	2.77	0.59	0.01	1
17	But09-A	1970	2014	45	1	0	0.73	2.9	7.7	1.24	0.19	0.41	2.9	0.62	-0.15	1
18	But09-B	1970	2014	45	1	0	0.432	3.1	6.7	1.24	0.345	0.356	2.76	0.55	-0.04	2
19	But10-A	1965	2014	50	1	0	0.707	3.2	9.0	1.57	0.338	0.406	2.63	0.61	-0.17	3
20	But10-B	1961	2014	54	2	0	0.571	3.3	7.2	1.43	0.419	0.364	2.68	0.55	-0.05	1
21	But11-A	1937	2014	78	3	0	0.75	3.1	8.0	1.34	0.315	0.385	2.74	0.43	-0.09	2
22	But11-B	1961	2014	54	2	0	0.698	3.3	8.5	1.47	0.419	0.315	2.85	0.68	-0.11	2
23	But12-A	1955	2014	60	2	0	0.602	3.1	7.9	1.36	0.284	0.325	2.9	0.6	-0.03	1
24	But12-B	1929	2014	86	3	0	0.664	3.0	8.1	1.28	0.357	0.341	2.95	0.71	-0.05	2
Total or meas:				1477	49	2	0.624	3.1	9.0	1.36	0.335	0.363	3.01	0.56	-0.04	

Anexo 13. Coeficientes de correlacion entre el IAA de *Swietenia macrophylla* y la precipitación.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
IAA	Enero	53	-0.12	0.3975
IAA	Febrero	53	-0.1	0.4759
IAA	Marzo	53	-0.1	0.4745
IAA	Abril	53	-0.16	0.2527
IAA	Mayo	54	0.11	0.4255
IAA	Junio	53	0.04	0.7637
IAA	Julio	54	-0.06	0.6413
IAA	Agosto	53	0.16	0.2652
IAA	Septiembre	54	0.01	0.916
IAA	Octubre	53	0.22	0.1165
IAA	Noviembre	51	0.08	0.5821
IAA	Diciembre	52	-0.01	0.9717
IAA	Precipitación anual	55	0.2	0.1437
IAA	Temporada lluviosa	55	0.23	0.0941
IAA	Temporada seca	53	-0.2	0.1549
IAA	Lluvioso seco	54	0.05	0.7433
IAA	Seco-lluvioso	53	-0.14	0.3258
IAA	Lluvioso temprano	55	0.13	0.345
IAA	Lluvioso tardío	54	0.2	0.1529

Anexo 14. Coeficientes de correlacion entre el IAA de *Swietenia macrophylla* y la temperatura

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
IAA	Enero	52	-0.13	0.3612
IAA	Febrero	51	0.06	0.6572
IAA	Marzo	52	0.12	0.4157
IAA	Abril	52	-0.16	0.2537
IAA	Mayo	51	-0.1	0.5021
IAA	Junio	49	-0.12	0.4177
IAA	Julio	52	-0.13	0.3685
IAA	Agosto	51	0.03	0.8077
IAA	Septiembre	51	0.12	0.3887
IAA	Octubre	53	-0.12	0.383
IAA	Noviembre	48	-0.1	0.4942
IAA	Diciembre	50	0.02	0.8702
IAA	Temperatura media	54	-0.07	0.6293
IAA	Temporada lluviosa	54	-0.1	0.4541
IAA	Temporada seca	52	0.01	0.9287
IAA	Seco-lluvioso	53	-0.04	0.7825
IAA	Lluvioso seco	53	-0.07	0.6199
IAA	Lluvioso temprano	53	-0.15	0.3001
IAA	Lluvioso tardío	53	-0.03	0.8067

Anexo 15. Coeficientes de correlación entre el IAA de *Carapa guianensis* y precipitación.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
IAA	Enero	53	-0.02	0.8762
IAA	Febrero	53	-0.03	0.8454
IAA	Marzo	53	-0.12	0.4018
IAA	Abril	53	0.17	0.2355
IAA	Mayo	54	-0.07	0.609
IAA	Junio	53	0.06	0.6658
IAA	Julio	54	0.02	0.8885
IAA	Agosto	53	0.04	0.8029
IAA	Septiembre	54	-0.12	0.3805
IAA	Octubre	53	-0.14	0.3236
IAA	Noviembre	51	-0.05	0.7185
IAA	Diciembre	52	0.14	0.3095
IAA	Precipitación anual	55	0.04	0.7596
IAA	Temporada lluviosa	55	0.03	0.8248
IAA	Temporada seca	53	0.02	0.8915
IAA	Seco-lluvioso	54	1.50E-03	0.9914
IAA	Lluvioso seco	53	-0.03	0.8311
IAA	Lluvioso temprano	55	0.06	0.6572
IAA	Lluvioso tardío	54	-0.1	0.4544

Anexo 16. Coeficientes de correlación entre el IAA de *Carapa guianensis* y temperatura.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
IAA	Enero	52	-0.18	0.211
IAA	Febrero	51	-0.2	0.1663
IAA	Marzo	52	0.13	0.3699
IAA	Abril	52	-0.03	0.8263
IAA	Mayo	51	-0.17	0.2371
IAA	Junio	49	-0.24	0.0959
IAA	Julio	52	-0.08	0.5779
IAA	Agosto	51	-0.12	0.3993
IAA	Septiembre	51	-0.14	0.3161
IAA	Octubre	53	-0.08	0.5896
IAA	Noviembre	48	-0.33	0.0202
IAA	Diciembre	50	-0.22	0.1335
IAA	Temperatura media	54	-0.11	0.4408
IAA	Temporada lluviosa	54	-0.13	0.3605
IAA	Temporada seca	52	-0.1	0.4807
IAA	Seco-lluvioso	53	0.06	0.6853
IAA	Lluvioso seco	53	-0.2	0.1465
IAA	Lluvioso temprano	53	-0.12	0.3938
IAA	Lluvioso tardío	53	-0.17	0.2131

Anexo 17. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de precipitación y el IAA de *Swietenia macrophylla* que se forma un año siguiente.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
IAACaoba año siguiente	Enero	52	-0.08	0.5953
IAACaoba año siguiente	Febrero	52	0.06	0.6789
IAACaoba año siguiente	Marzo	52	0.16	0.2542
IAACaoba año siguiente	Abril	52	0.02	0.906
IAACaoba año siguiente	Mayo	53	-2.20E-03	0.9876
IAACaoba año siguiente	Junio	52	0.16	0.2528
IAACaoba año siguiente	Julio	53	-0.07	0.602
IAACaoba año siguiente	Agosto	52	0.1	0.4613
IAACaoba año siguiente	Septiembre	53	-0.32	0.0178
IAACaoba año siguiente	Octubre	52	0.18	0.2017
IAACaoba año siguiente	Noviembre	50	-0.17	0.2508
IAACaoba año siguiente	Diciembre	51	-0.02	0.9098
IAACaoba año siguiente	Precipitación anual	54	0.07	0.6015

Anexo 18. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de temperatura y el IAA de *Swietenia macrophylla* que se forma un año siguiente.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
IAACaoba año siguiente	Enero	51	-0.15	0.2927
IAACaoba año siguiente	Febrero	50	0.05	0.7435
IAACaoba año siguiente	Marzo	51	0.13	0.377
IAACaoba año siguiente	Abril	51	-0.12	0.3831
IAACaoba año siguiente	Mayo	50	-0.01	0.9329
IAACaoba año siguiente	Junio	48	-0.08	0.6081
IAACaoba año siguiente	Julio	51	-0.16	0.2729
IAACaoba año siguiente	Agosto	50	-0.01	0.9184
IAACaoba año siguiente	Septiembre	50	0.06	0.6852
IAACaoba año siguiente	Octubre	52	-0.15	0.2769
IAACaoba año siguiente	Noviembre	47	-0.07	0.6412
IAACaoba año siguiente	Diciembre	49	-0.21	0.154
IAACaoba año siguiente	Media	53	-0.09	0.5427

Anexo 19. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de precipitación y el IAA de *Carapa guianensis* que se forma un año siguiente.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
IAA-CM Año siguiente	Enero	52	-0.06	0.6719
IAA-CM Año siguiente	Febrero	52	-0.25	0.0703
IAA-CM Año siguiente	Marzo	52	-0.18	0.2038
IAA-CM Año siguiente	Abril	52	-0.07	0.6
IAA-CM Año siguiente	Mayo	53	0.16	0.2483
IAA-CM Año siguiente	Junio	52	-0.02	0.8867
IAA-CM Año siguiente	Julio	53	-0.16	0.2433
IAA-CM Año siguiente	Agosto	52	-0.16	0.2499
IAA-CM Año siguiente	Septiembre	53	-0.08	0.5727
IAA-CM Año siguiente	Octubre	52	-2.80E-04	0.9984
IAA-CM Año siguiente	Noviembre	50	0.21	0.1481
IAA-CM Año siguiente	Diciembre	51	-0.01	0.9542
IAA-CM Año siguiente	Precipitación anual	54	-0.1	0.4635

Anexo 20. Tabla de correlación de Pearson entre las variables climáticas de temperatura y el IAA de *Carapa guianensis* que se forma un año siguiente.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
IAA-CM Año siguiente	Enero	51	-0.23	0.1055
IAA-CM Año siguiente	Febrero	50	-0.18	0.2192
IAA-CM Año siguiente	Marzo	51	-0.1	0.4711
IAA-CM Año siguiente	Abril	51	-0.21	0.1306
IAA-CM Año siguiente	Mayo	50	-4.90E-03	0.9733
IAA-CM Año siguiente	Junio	48	-0.22	0.1331
IAA-CM Año siguiente	Julio	51	0.03	0.8351
IAA-CM Año siguiente	Agosto	50	-0.16	0.2542
IAA-CM Año siguiente	Septiembre	50	-0.25	0.0862
IAA-CM Año siguiente	Octubre	52	-0.15	0.2847
IAA-CM Año siguiente	Noviembre	47	-0.14	0.348
IAA-CM Año siguiente	Diciembre	49	-0.15	0.302
IAA-CM Año siguiente	Media	53	-0.11	0.4243