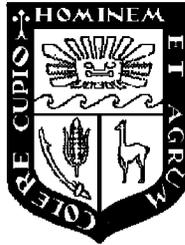


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Análisis Dendrocronológico de tres
especies forestales del Bosque seco
Ecuatorial Estacional**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Jedi Rosero Alvarado

Lima – Perú
2011

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. JEDI ROSERO ALVARADO, intitulado “ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO DE TRES ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE SECO ECUATORIAL ESTACIONAL ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 15 de Noviembre de 2011

.....
Dr. Carlos Reynel Rodriguez
Presidente

.....
Dra Maria Manta Nolasco
Miembro

.....
Ing. Juan Torres Guevara
Miembro

.....
Dr. Percy Zevallos Pollito
Patrocinador

.....
Ing. Manuel Chavesta Custodio

RESUMEN

En la presente investigación, fueron aplicadas técnicas de dendrocronología en árboles de Palo santo, Hualtaco y Sapote, de dos poblaciones en el bosque seco ecuatorial estacional BTES del Perú, visando (i) caracterizar la estructura del anillo de crecimiento de las especies en estudio, (ii) comprobar la anualidad de la formación de los anillos de crecimiento y determinación de la edad de los árboles de estudio, (iii) analizar los anillos de crecimiento de las especies en estudio para su aplicación en estudios dendroclimatológicos y dendroecológicos y (iv) aplicar la técnica de densitometría de Rayos X en el estudio del leño y de los anillos de crecimiento de las especies en estudio. Fueron seleccionados 5 árboles por especie en dos poblaciones localizadas en el Departamento de Lambayeque, Perú y extraídos discos del tronco al DAP. Fue caracterizada la estructura anatómica del leño y de los anillos, determinándose su número, ancho e aplicadas técnicas de dendrocronología. Anillos de crecimiento fueron sincronizados, utilizando los programas COFECHA, ARSTAN e RESPO, determinándose la relación del ancho con las variables climáticas (precipitación anual), tasa de crecimiento y la edad de los árboles. La variación radial de la densidad aparente del leño fue determinada por la densitometría de Rayos X. Anillos de crecimiento delimitados por zonas fibrosas son comprobadamente anuales y posibilitan la determinación de la edad de árboles para las especies Palo santo (59 años) y Hualtaco (47 años) y la construcción de cronologías para los periodos 1947-2005 y periodos 1953-2006 respectivamente. Las tasas de crecimiento encontradas en Palo santo fue de 0.31 a 0.67 cm/año, en Hualtaco fue de 0.44 a 0.72cm/año. La variable climática determinante para el mayor crecimiento en diámetro del tronco de los árboles fue la precipitación anual acumulada de Lambayeque. Los perfiles radiales de densidad aparente del leño, obtenidos por densitometría de Rayos X, posibilitan la identificación del límite exacto de los anillos por valores máximos de densidad en la región de zona fibrosa (límite del anillo). El análisis de regresión entre el ancho de los anillos medidos en mesa de medición y por densitometría de Rayos X presento un valor de $r^2=0,97$ y $0,99$ para Palo santo y Hualtaco respectivamente mostrando la potencialidad de los Rayos X como herramienta para estudios de dendrocronología. Por otro lado, la especie *Capparis scabrida* resulto no ser potencial para estudios dendrocronológicos debido a la estructura anatómica que presenta y a la alta variación de su perfil densitométrico no diferenciando el anillo tanto visual como por densitometría.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.3 LA DENDROCRONOLOGÍA.....	11
2.3.1 <i>la Estacionalidad y su relación con la DENDROCRO OLOGIA.....</i>	<i>12</i>
2.3.2 <i>aplicación y relación con otras ciencias.....</i>	<i>14</i>
2.4 ESTRUCTURA INTERNA DE ANILLOS DE CRECIMIENTO EN LATIFOLIADAS.....	24
2.4.1 <i>Sensibilidad y estacionalidad del CÁMBIUM.....</i>	<i>24</i>
2.4.2 <i>Anillos de crecimiento.....</i>	<i>26</i>
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1 SELECCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.....	33
3.1.1 <i>BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE LLANURA (BSSD LL).....</i>	<i>37</i>
3.1.2 <i>BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE COLINA (BSSDC).....</i>	<i>37</i>
3.1.3 <i>ÁREAS DE MUESTREO.....</i>	<i>38</i>
3.2 SELECCIÓN DE LA ESPECIE.....	44
3.3 TÉCNICA DE MUESTREO.....	44
3.3.1 <i>RECOLECCIÓN DE LOS CUERPOS DE PRUEBA.....</i>	<i>45</i>
3.3.2 <i>PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....</i>	<i>45</i>
3.3.3 <i>MEDICIÓN DEL ANCHO DE LOS ANILLOS.....</i>	<i>46</i>
3.4 CARACTERIZACION ANATOMICA DE LA ESTRUCTURA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO.....	47
3.4.1 <i>CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO.....</i>	<i>47</i>
3.4.2 <i>caracterización microscópica del anillo de crecimiento.....</i>	<i>47</i>
3.5 ANÁLISIS DENDROCRONOLOGICO DE LAS ESPECIE.....	48
3.5.1 <i>SINCRONIZACIÓN o co-fechaado de los anillos de crecimiento.....</i>	<i>48</i>
3.5.2 <i>ELABORACIÓN de la serie MASTER de anillos de crecimiento.....</i>	<i>48</i>
3.6 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS METEOROLÓGICO.....	51
3.7 ANÁLISIS DENDROCLIMATOLOGICO.....	52
3.8 ANÁLISIS DENDROECOLOGICO.....	52
3.9 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE DENSITOMETRÍA POR RAYOS X EN ESTUDIOS DE DENDROCRONOLOGIA.....	52
3.9.1 <i>Densitometría por Rayos X.....</i>	<i>53</i>
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1 CARACTERIZACIÓN ANATOMICA DE LA ESTRUCTURA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO.....	58
4.1.1 <i>Bursera graveolens (Kunth) Triana & Planch.....</i>	<i>58</i>
4.1.2 <i>Loxopterygium huasango Spruce ex Engl.....</i>	<i>59</i>
4.1.3 <i>Capparis scabrida Kunth.....</i>	<i>61</i>
4.2 ANÁLISIS DENDROCRONOLOGICO DE LAS ESPECIES DE BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO (BTES).....	64
4.2.1 <i>control de calidad de series de anillos y cronologia.....</i>	<i>64</i>

4.2.2	<i>Análisis dendroclimática de las series cronológicas de anillos de crecimiento</i>	77
4.2.3	<i>Análisis dendroECOLÓGICO de las series cronológicas de anillos de crecimiento</i>	81
4.3	APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE DENSITOMETRÍA POR RAYOS X EN ESTUDIOS DE DENDROCRONOLOGIA	82
4.3.1	<i>variación de la densidad del leño en el sentido radial del tronco en árboles de bosque tropical estacionalmente seco (Btes)</i>	82
4.3.2	<i>demarcación y evaluación del ancho de anillos de crecimiento por densitometría de Rayos x</i>	85
5.	CONCLUSIONES	89
6.	RECOMENDACIONES	91
ANEXO 1		105
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE.....	105
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONTINÚA)	106
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONCLUSIÓN)	107
ANEXO 2		108
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A MAYASCONG.....	108
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A MAYASCON (CONCLUSIÓN).....	108
ANEXO 3		110
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE <i>LOXOPTERIGYUM HUASANGO</i> CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE.....	110
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE <i>LOXOPTERIGYUM HUASANGO</i> CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONTINUACIÓN)	111
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE <i>LOXOPTERIGYUM HUASANGO</i> CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONCLUSIÓN).....	112
ANEXO 4		113
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE <i>LOXOPTERIGYUM HUASANGO</i> CORRESPONDIENTES A MAYASCONG.....	113
	PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE <i>LOXOPTERIGYUM HUASANGO</i> CORRESPONDIENTES A MAYASCONG (CONCLUSIÓN)	114

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1 RESUMEN CRONOLÓGICO DEL EVENTO EL NIÑO EN LA COSTA PERUANA SEGÚN INTENSIDAD, RECOPIACIÓN BASADA EN REGISTROS METEOROLÓGICOS, HISTÓRICOS Y CRÓNICAS. FUENTE: REGISTROS DEL FENÓMENO EL NIÑO EN EL PERÚ GLANTZ M. H.	11
CUADRO 2 RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DE LAS SERIES EJECUTADAS EN EL PROGRAMA COFECHA	65
CUADRO 3 INTER-CORRELACIÓN DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS A PARTIR DE LOS ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO PARA LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS EN TONGORRAPE	68
CUADRO 4 INTER-CORRELACIÓN DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS A PARTIR DE LOS ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO PARA LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS EN MAYASCONG	68
CUADRO 5 INTER-CORRELACIÓN DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS A PARTIR DE LOS ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO PARA LA ESPECIE LOXOPTERYGIUM HUASANGO EN TONGORRAPE	71
CUADRO 6 INTER-CORRELACIÓN DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS A PARTIR DE LOS ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO PARA LA ESPECIE LOXOPTERYGIUM HUASANGO EN MAYASCONG	71
CUADRO 7 EDAD DE LOS ÁRBOLES Y PERIODO DE CADA SERIE CRONOLÓGICA DE LAS ESPECIES EN CADA ÁREA DE MUESTREO DEL BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO ECUATORIAL (BTES)	73
CUADRO 8 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON ENTRE LAS CRONOLOGÍAS MÁSTER DE LAS POBLACIONES/ESPECIES	74
CUADRO 9 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON ENTRE LAS CRONOLOGÍAS MÁSTER DE LAS POBLACIONES/ESPECIES Y LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL DE LAMBAYEQUE	78
CUADRO 10 RESUMEN DE TASAS DE CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO	82
CUADRO 11 DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LOS ÁRBOLES DE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE	83
CUADRO 12 DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LOS ÁRBOLES DE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A MAYASCONG	84
CUADRO 13 – DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LOS ÁRBOLES DE LOXOPTERYGIUM HUASANGO CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE	85
CUADRO 14 DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LOS ÁRBOLES DE LOXOPTERYGIUM HUASANGO CORRESPONDIENTES A MAYASCONG	85

Lista de figuras

Página

FIGURA 1	DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN ESTACIONALMENTE SECA (BTES) DIFERENCIÁNDOSE DEL CHACO Y LAS SABANAS (LINARES-PALOMINO, 2004).	4
FIGURA 2	DISTRIBUCIÓN DE BOSQUES SECOS EN EL PERÚ. BTES ECUATORIALES, BTES INTERANDINOS, BTES ORIENTALES	4
FIGURA 3	TIPOS DE BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO (BTES). A) BTES DE LLANURA, B) BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO DE MONTAÑA (LINARES-PALOMINO 2004).	6
FIGURA 4	FUNCIÓN DE CORRELACIÓN (BARRA GRIS) Y FUNCIÓN RESPUESTA (BARRAS NEGRAS) DE LA CRONOLOGÍA DE PROSOPIS FLEXUOSA.	14
FIGURA 5	LA DENDROCRONOLOGÍA Y SU CONEXIÓN CON OTRAS DISCIPLINAS; MÉTODOS DE ANÁLISIS Y APLICACIONES (KENNEL & SCHWEINGRUBER, 1995).	16
FIGURA 6	SERIE DE ANCHO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO ANUALES EN ÁRBOLES DE CAOBA (SWIETENIA MACROPHYLLA) EN BOSQUE TROPICAL AMAZÓNICO (ROSETO ALVARADO, 2009)	17
FIGURA 7	ANILLOS DE CRECIMIENTO EN ÁRBOLES DE PINUS RADIATA: VARIACIÓN RADIAL DE DENSIDAD INTER E INTRA-ANILLAR DE CRECIMIENTO POR DENSITOMETRÍA DE RAYOS X (MELO, 2010).	19
FIGURA 8	VARIACIÓN DE LA DENSIDAD INTER E INTRA ANILLAR DE LA MEDULA A LA CORTEZA EN ÁRBOLES DE BETULA (BETULA PAPYRIFERA) Y FRESNO (FRAXINUS AMERICANA).	20
FIGURA 9	ISÓTOPO DE OXÍGENO (O18). EL ANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE PROSOPIS PALLIDA DE PIURA LLEVADA A CABO EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE ANILLOS (LTRR), UNIVERSIDAD DE ARIZONA, EEUU. MUESTRA LA VARIACIÓN ISOTÓPICA A LO LARGO DE UNA SECCIÓN DE 35 MM DE UN ÁRBOL DE 10 AÑOS. HAY UNA SEÑAL FUERTE PROBABLEMENTE DEBIDO AL ACONTECIMIENTO DEL ENSO DE 1997-98 (EVANS AND SCHRAG, 2004).	23
FIGURA 10	RELACIÓN ENTRE EL INCREMENTO RADIAL DE CEDRELA ODORATA (LÍNEAS FINAS), CON LOS CAMBIOS DE LA COPA DEL ÁRBOL (LÍNEA EN PUNTOS) Y CON EL PERIODO ANUAL DE SEQUIA (COLUMNAS CLARAS).	24
FIGURA 11	ANILLOS DE CRECIMIENTO DEL LEÑO DE LA ESPECIE SWIETENIA MACROPHYLLA. VARIABILIDAD DE LOS ANCHOS DE ANILLOS (LARGOS Y ESTRECHOS) (ROSETO ALVARADO, 2009).	26
FIGURA 14	MODELO SIMPLIFICADO, EFECTO DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS EN LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS DE LOS ÁRBOLES, SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD CAMBIAL Y FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO (FRITTS & SHASHKIN, 1995).	32
FIGURA 15	UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE MUESTREO SEGÚN MAPA FORESTAL DE BOSQUES SECOS (PROYALGA, 2003). SITIO DE MUESTREO TONGORRAPE (SUPERIOR), SITIO DE MUESTREO HACIENDA MAYASCONG (INFERIOR)	38
FIGURA 16	VISTA PANORÁMICA DE LA PARTE ALTA DEL ÁREA DE ESTUDIO, COMUNIDAD CAMPESINA TONGORRAPE A) BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE COLINA B) TRANSICIÓN DEL BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE LLANURA-COLINA.	41
FIGURA 17	VISTA PANORÁMICA DE LA PARTE ALTA DEL ÁREA DE ESTUDIO, HACIENDA MAYASCONG A) BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE COLINA B) TRANSICIÓN DEL BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE LLANURA-COLINA, MARGEN DEL RIO LA LECHE.	43
FIGURA 18	ESPECIES SELECCIONADAS PARA ESTUDIO DENDROCRONOLÓGICO. A) BURSERA GRAVEOLENS (PALO SANTO). B) LOXOPTERYGIUM HUASANGO (HUALTACO) Y C) CAPPARIS SCABRIDA (SAPOTE).	44
FIGURA 19	SECUENCIA DE MUESTREO DESTRUCTIVO EN ÁRBOLES DE LA ESPECIE CAPPARIS SCABRIDA, MUESTRAS TOMADAS AL DAP A) ÁRBOL DERRUMBADO, B) SELECCIÓN AL DAP, C) DISCOS DE LAS ESPECIES MUESTREADAS	45
FIGURA 20	LIJADO Y PULIDO DE DISCOS A) LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE TRANSVERSAL DEL DISCO PARA LIJADO, (B) LIJADO CON GRADUACIÓN DE ASPEREZA VARIANDO DE 100-600 (C) PRODUCTO FINAL, SE APRECIA EL RESALTE DE ANILLOS DE CRECIMIENTO PRODUCTO DEL ACABADO MANUAL	46
FIGURA 21	ANÁLISIS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS DISCOS, A) MARCADO DE RADIOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, DELIMITACIÓN Y CONTEO DE ANILLOS DE CRECIMIENTO, B) MEDICIÓN DE ANILLOS MARCADOS EN LA MESA DE MEDICIÓN VELMEX (0.001MM).	47

FIGURA 22	ANÁLISIS ANATÓMICO DE LA ESTRUCTURA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO, A) ELABORACIÓN DE LÁMINAS HISTOLÓGICAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL, B) ANÁLISIS DE IMÁGENES DIGITALES DE LOS CORTES HISTOLÓGICOS.....	48
FIGURA 23	REGISTRO METEOROLÓGICO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD PEDRO RUIZ GALLO (LAMBAYEQUE). A) PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL PARA EL PERIODO 1976-2005. B) PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL DE LAMBAYEQUE PARA EL PERIODO 1976-2005	51
FIGURA 24	OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA DENSITOMETRÍA DE RAYOS X. A) MARCACIÓN DE RADIOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS DISCOS, (B) CORTE DE RADIOS MARCADOS (2 POR MUESTRA) MEDULA-CORTEZA, C) RADIOS CORTADOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL COLADOS SOBRE SOPORTES PARA SU POSTERIOR CORTE CON SIERRA DOBLE Y D) MUESTRAS DE RADIOS CORTADOS A UN ESPESOR DE 2 MM LISTOS A SER IRRADIADOS	53
FIGURA 25	PROCESO DE EXTRACCIÓN DE GOMAS (EXTRACTIVOS DE LA MADERA) (A) MUESTRAS CON ALCOHOL TOLUENO EN EL EQUIPO SOXLET, (B) EXTRACTIVOS RETIRADOS DE LAS MUESTRAS.....	54
FIGURA 26	DENSITOMETRÍA DE RAYOS X, A) COLOCANDO EL FILME DE RAYOS X DEBAJO DE LAS MUESTRAS, B) COLOCACIÓN DE LAS MUESTRAS A IRRADIAR CON LA RESPECTIVA ESCALA N DENTRO DE LA CÁMARA DE RAYOS X, C) PLACAS DE RAYOS X DIGITALIZADAS Y ANALIZADAS CON EL PROGRAMA CRAD Y CERD, D) PERFIL RADIAL DE LA DENSIDAD APARENTE Y RESPECTIVA MUESTRA DE LEÑO.	57
FIGURA 27	IMAGEN MACROSCÓPICA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO EN EL LEÑO DE LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS . A) SERIE DE ANILLOS MEDULA-CORTEZA. B), C), D) VARIABILIDAD DE ANILLOS DE CRECIMIENTO ANCHOS Y ESTRECHOS	58
FIGURA 28	IMAGEN MICROSCÓPICA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO EN EL LEÑO DE LA ESPECIE BURSERIA GRAVEOLENS . A) SERIE DE ANILLOS MEDULA-CORTEZA. B), C), D) VARIABILIDAD DE ANILLOS DE CRECIMIENTO ANCHOS Y ESTRECHOS (40X). BARRA= 100 μ	59
FIGURA 29	IMAGEN MACROSCÓPICA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO EN EL LEÑO DE LA ESPECIE LOXOPTERYGIUM HUASANGO . A) SERIE DE ANILLOS MEDULA-CORTEZA. B), C), D) VARIABILIDAD DE ANILLOS DE CRECIMIENTO ANCHOS Y ESTRECHOS.....	60
FIGURA 30	IMAGEN MICROSCÓPICA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO EN EL LEÑO DE LA ESPECIE LOXOPTERYGIUM HUASANGO . A) SERIE DE ANILLOS MEDULA-CORTEZA. B), C), D) VARIABILIDAD DE ANILLOS DE CRECIMIENTO ANCHOS Y ESTRECHOS (40X). BARRA= 100 μ	60
FIGURA 31	IMAGEN MACROSCÓPICA DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA DEL LEÑO DE LA ESPECIE CAPPARIS SCABRIDA . A) ESTRUCTURA ANATÓMICA CON PRESENCIA DE ABUNDANTE PARÉNQUIMA EN BANDAS DELGADAS MEDULA-CORTEZA. B), C), D) DIFÍCIL IDENTIFICACIÓN DEL LÍMITE DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO.	61
FIGURA 32	IMAGEN MICROSCÓPICA DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA DEL LEÑO DE LA ESPECIE CAPPARIS SCABRIDA . A) ESTRUCTURA ANATÓMICA CON PRESENCIA DE ABUNDANTE PARÉNQUIMA EN BANDAS DELGADAS MEDULA-CORTEZA. B), C), D) DIFÍCIL IDENTIFICACIÓN MICROSCÓPICA DEL LÍMITE DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO (40X). BARRA=100 μ	62
FIGURA 33	IMAGEN MICROSCÓPICA DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO FALSOS EN LAS ESPECIES EN ESTUDIO. A) VISTA MACROSCÓPICA DE ANILLOS FALSOS EN BURSERIA GRAVEOLENS . B) VISTA MICROSCÓPICA (100X) DE ANILLOS FALSOS EN BURSERIA GRAVEOLENS C) VISTA MICROSCÓPICA (40X) DE ANILLOS FALSOS EN LOXOPTERYGIUM HUASANGO D) VISTA MICROSCÓPICA (100X) DE ANILLOS FALSOS EN LOXOPTERYGIUM HUASANGO . BARRA=50 μ	63
FIGURA 34	SERIES DEL ANCHO DE ANILLOS DE CRECIMIENTO CON SEÑAL COMÚN (SUPERIOR), SERIE CRONOLÓGICA FILTRADA POR COFECHA Y OBTENIDA CON ARSTAN (HOLMES, 1994) Y NUMERO DE MUESTRAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE BURSERIA GRAVEOLENS EN TONGORRAPE (INFERIOR)	66
FIGURA 35	SERIES DEL ANCHO DE ANILLOS DE CRECIMIENTO CON SEÑAL COMÚN (SUPERIOR), SERIE CRONOLÓGICA FILTRADA POR COFECHA Y OBTENIDA CON ARSTAN (HOLMES, 1994) Y NUMERO DE MUESTRAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE BURSERIA GRAVEOLENS EN MAYASCONG (INFERIOR)	67
FIGURA 36	SERIES DEL ANCHO DE ANILLOS DE CRECIMIENTO CON SEÑAL COMÚN (SUPERIOR), SERIE CRONOLÓGICA FILTRADA POR COFECHA Y OBTENIDA CON ARSTAN (HOLMES, 1994) Y NUMERO DE MUESTRAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE LOXOPTERYGIUM HUASANGO EN TONGORRAPE (INFERIOR)	69
FIGURA 37	SERIES DEL ANCHO DE ANILLOS DE CRECIMIENTO CON SEÑAL COMÚN (SUPERIOR), SERIE CRONOLÓGICA FILTRADA POR COFECHA Y OBTENIDA CON ARSTAN (HOLMES, 1994) Y NUMERO DE MUESTRAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE LOXOPTERYGIUM HUASANGO EN MAYASCONG (INFERIOR).....	70
FIGURA 38	COMPARACIÓN DE LAS CRONOLOGÍAS MASTER DE LAS POBLACIONES DE BURSERIA GRAVEOLENS CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (SUPERIOR) Y MAYASCONG (INFERIOR).....	75

FIGURA 39	COMPARACIÓN DE LAS CRONOLOGÍAS MASTER DE LAS POBLACIONES DE <i>LOXOPTERYGIUM HUASANGO</i> CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (SUPERIOR) Y MAYASCONG (INFERIOR).	76
FIGURA 40	CORRELACIÓN ENTRE LA CRONOLOGÍA MASTER DE LA POBLACIÓN DE <i>BURSERIA GRAVEOLENS</i> CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (SUPERIOR) Y A MAYASCONG (INFERIOR) CON LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL DE LAMBAYEQUE	79
FIGURA 41	CORRELACIÓN ENTRE LA CRONOLOGÍA MASTER DE LA POBLACIÓN DE <i>LOXOPTERYGIUM HUASANGO</i> CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (SUPERIOR) Y A MAYASCONG (INFERIOR) CON LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL DE LAMBAYEQUE	80
FIGURA 42	LÍNEAS DE TENDENCIA DE CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO. ARRIBA: <i>BURSERIA GRAVEOLENS</i> EN TONGORRAPE Y MAYASCONG. ABAJO: <i>LOXOPTERYGIUM HUASANGO</i> EN TONGORRAPE Y MAYASCONG	81
FIGURA 43	PERFIL RADIAL DE DENSIDAD APARENTE EN EL LEÑO DE LOS ÁRBOLES DE <i>BURSERIA GRAVEOLENS</i> . TENDENCIA DE CRECIMIENTO Y DIFERENCIACIÓN DE DURAMEN Y ALBURA EN EL PERFIL.....	83
FIGURA 44	PERFIL RADIAL DE DENSIDAD APARENTE EN EL LEÑO DE LOS ÁRBOLES DE <i>LOXOPTERYGIUM HUASANGO</i> . TENDENCIA DE CRECIMIENTO Y DIFERENCIACIÓN DE DURAMEN Y ALBURA EN EL PERFIL	84
FIGURA 45	REGRESIÓN LINEAL DEL ANCHO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DETERMINADO POR LA MESA DE MEDICIÓN Y LA TÉCNICA DE DENSITOMETRÍA POR RAYOS X EN LAS ESPECIES DE ESTUDIO (SUPERIOR). RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD APARENTE PROMEDIO (G.CM-3) Y EL ANCHO (MM) DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO.	87
FIGURA 46	IMAGEN DE LA ESPECIE <i>CAPPARIS SCABRIDA</i> ANALIZADA EN EL SOFTWARE CERD. PERFIL DENSITOMÉTRICO NO IDENTIFICADO/ANALIZADO POR EL SOFTWARE.	88

1. INTRODUCCIÓN

El Bosque Tropical estacionalmente seco Ecuatorial (BTES) es considerado un ecosistema frágil dada las condiciones naturales en las cual se encuentra; sin embargo, su contribución en la economía de las poblaciones asentadas allí es mayor que la de bosques húmedos; porque las especies que las conforman son de múltiple propósito: Energía, Construcción, Apicultura, Pecuaria, Artesanía, Medicina, etc. Su desaparición significaría la pérdida de un valioso recurso que sustenta la región Noroeste del Perú (Morizaki, 1998). Esto debe conducir con urgencia a crear estrategias adecuadas para un manejo de los bosques secos, lo que implica dar condiciones que favorezcan el establecimiento de la regeneración natural. Uno de los principales problemas son las escasas precipitaciones que no permiten llevar a cabo ningún programa de reforestación, salvo cuando las lluvias son generadas durante el “Fenómeno El Niño” (El Niño Oscillation South - ENOS) que se presentan en periodos de 7 a 11 años que, de las experiencias que se tengan es la única que ha asegurado la continuidad del bosque (Calderón, 1999). La regeneración natural durante el ENOS crece en forma mucho más rigurosa lo que asegura su desarrollo y permanencia, cubriendo los desiertos con vegetación, siendo los árboles abastecidos por aguas subterránea (Aguilar, 1990).

A pesar de los avances en las investigaciones sobre el ENOS todavía existe dificultad de contar con información climatológica del pasado, vinculada con el proceso de desertificación por causas atroficas. Los registros históricos, en cuanto al clima, se pueden encontrar desde 1532 (Rodríguez et al, 2005), basado en crónicas hechas por los españoles quienes relataban los ENOS como catástrofes naturales sin cuantificar la magnitud de los parámetros meteorológicos. Ya en 1975 James Hutton dijo que la clave para pronosticar los eventos naturales en el presente es el pasado, por eso es necesario contar con registros climáticos para poder planificar actividades de recuperación de los BTES.

Una de las técnicas que nos permite conocer el estado climático de una región es la dendrocronología. Su aplicación nos conduce a la reconstrucción climática de épocas sin registro a través de la dendroclimatología (Fritts, 1976). El crecimiento de los árboles tiene una relación directa con el medio ambiente y por ende con el clima. Este crecimiento queda registrado y su análisis puede mejorar las estadísticas existentes sobre la variabilidad de los

fenómenos meteorológicos, base para los científicos quienes podrían estimar modelos frecuencias y extensión geográfica de las precipitaciones, que representen el comportamiento del clima; así mismo, modelos de predicción de los ENOS para el manejo de la regeneración natural, permitiendo recuperar los BTES (INRENA, 1994).

El crecimiento y el desarrollo de las comunidades vegetales ésta influenciado por factores medioambientales que actúan en forma favorable y desfavorable. La capa o zona de crecimiento de los árboles constituyen el resultado de los cambios atmosféricos, hídricos, hormonales y nutricionales que el árbol sufre a través del tiempo (Salisbury & Ross, 1994; Correa, 2004). Ante lo expuesto el objetivo de la presente investigación es caracterizar y analizar los anillos de crecimiento de árboles de *B rsera graveolens*, *Loxopterigyum huasango* y *Capparis scabrida* del Bosque Tropical Estacionalmente Seco de Lambayeque (BTES), viendo su aplicación en la dendrocronología, manejo forestal y calidad de la madera, mediante la caracterización de la estructura anatómica de los anillos, comprobación de la anualidad para determinación de la edad, aplicación en estudios dendroclimatológico – dendroecológico y la técnica de densitometría de Rayos X.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO (BTES)

Definidas así como base en ciertas características tales como fisonomía (bosques, matorrales, arbustos, sabanas, parques), cantidad de agua recibida (secos sub-húmedos, pluvifolios), estacionalidad (estacionalmente secos o húmedos, xerofíticos), longevidad de follaje (siempre verdes, semi-siempre verdes, semi-decíduos, decíduos) y diversas combinaciones y sub-combinaciones de cada uno de ellos. Actualmente se encuentran muy amenazadas, principalmente por acciones antrópicas (Linares-Palomino, 2004).

Pennington *et al.* (2000) define a los Bosques Tropicales estacionalmente secos (BTES) como bosques en los cuales la precipitación anual es menor a 1600mm, con una temporada seca de al menos 5 a 6 meses en los cuales la precipitación totaliza menos de 100mm. Consecuentemente, los procesos ecológicos son marcadamente estacionales y la productividad primaria neta es menor en los bosques húmedos debido a que solo se da en la temporada de lluvias. Estos bosques además son de menor estatura y área basal que los bosques húmedos tropicales. La definición excluye al Chaco, que tiene una composición florística diferente (Prado, 1991; Prado & Gibas, 1993) y la Sabana que es una formación mucho más abierta, dominada por pastos, ocurriendo usualmente en suelos pobres, caracterizada por la presencia de arbustos/árboles siempre verdes como *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) y *Birsonyma crassifolia* (L.) Kunth (Malpighaceae).

Distribución de los BTES en el Neotrópico

Se encuentran distribuidos desde México hasta Bolivia agrupándose en nueve áreas para el Neotrópico: América Central y el Caribe, Costa caribeña de Colombia y Venezuela, Valles interandinos Colombianos, Costa Peruano-Ecuatoriana, Valles interandinos Peruanos y Bolivianos, Planicie de Santa Cruz-Bolivia, Núcleo de Piedemonte, Núcleo del Paraná y Las Caatingas como se muestra en la Figura 1. No se consideran las sabanas (por ejemplo el Cerrado en Brasil), por tener características florísticas y ecológicas diferentes (ausencia de cactáceas, resistencia al fuego, alto contenido de aluminio en el suelo, entre otras), ni al Chaco (temperaturas extremas por debajo del punto de congelamiento) (Pennington *et al.*, 2000).

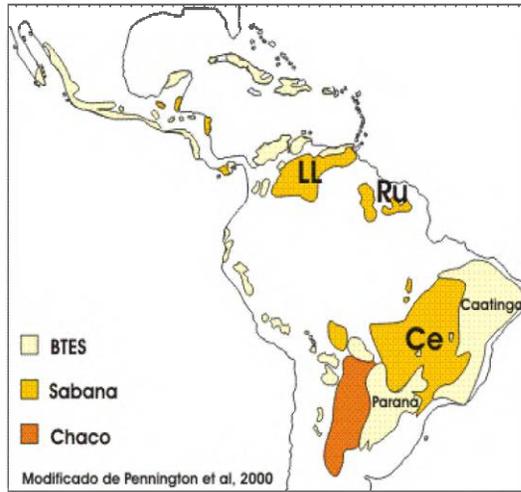


Figura 1 Distribución de la vegetación estacionalmente seca (BTES) diferenciándose del Chaco y las Sabanas (Linares-Palomino, 2004).

En el Perú se reconocen 3 sub-unidades: BTES Ecuatoriales, BTES Interandinos, BTES Orientales (Figura 2), las cuales fueron determinadas mediante estudios de composición florística (Pennington et al., 2000; Linares-Palomino, 2004).

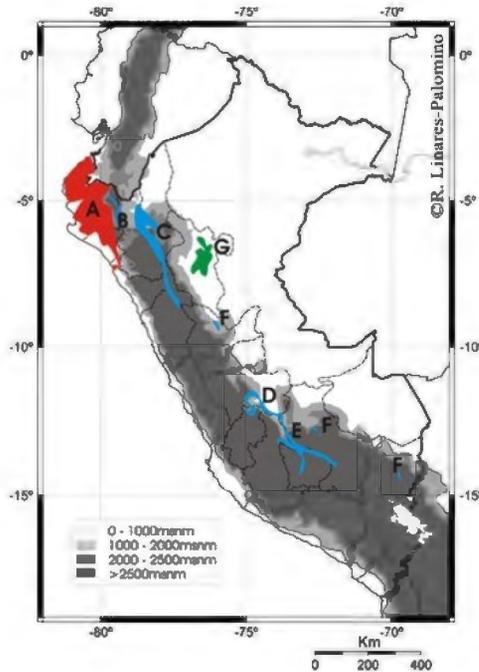


Figura 2 Distribución de bosques secos en el Perú. BTES Ecuatoriales, BTES Interandinos, BTES Orientales

2.1.1 BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO ECUATORIAL (BTES)

Ubicado en el extremo noroeste del Perú abarcando los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque (con remanentes aislados en La Libertad). Sus límites naturales son por el norte con el Océano Pacífico y las costas de Ecuador, por el este con el departamento de Cajamarca, por el sur con el departamento de La Libertad y por el oeste con el Océano Pacífico. Geográficamente está comprendido entre los paralelos 3° 20' y 6° 45' Lat. Sur y los meridianos 79° 30' y 80° 30' Long Oeste.

Los procesos ecológicos son fuertemente estacionales siendo la red primaria de productividad menor en comparación con la de los bosques lluviosos, el desarrollo o crecimiento en bosques secos se da en la estación húmeda, el cambio de estación húmeda a seca ocasiona caída de hojas (defoliación) permitiendo que los Rayos del sol penetren hacia el suelo cesando la descomposición por causa de la baja humedad relativa. La floración y la fructificación son estacionales y muchas especies florecen sincrónicamente en la transición entre la estación seca y la estación húmeda aun si los árboles o el bosque estén deshojados (Bullock, 1995).

Dentro de las familias más importantes que componen la flora se encuentra las Leguminosas (primeramente) y las Bignoniáceas mientras que existen otras familias que se desarrollan a la par y son parte de la flora común de los bosques como *Anacardiaceae*, *Myrtaceae*, *Rubiaceae*, *Sapindaceae*, *Euphorbiaceae*, *Flacourtiaceae* y *Capparidaceae* (Gentry, 1995)

Su fisiografía presenta generalmente un relieve plano en algunos casos yendo de llano a ondulado con depresiones no significativas, presentando zonas de vegas y pequeñas lomas que interrumpen el paisaje. En las faldas de los cerros y en la zona de Pampa Larga se aprecia lomadas, colinas y montañas, que presentan pendientes de moderadas a disectadas. Dentro de los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque se encuentran zonas relativamente planas, onduladas y depresionadas hasta zonas netamente colinosas o montañosas (Figura 3) de la cual Linares-Palomino (2004) clasifica bajo criterios estructurales y florísticos de dos maneras:

A) BTES DE LLANURA

Ubicados en las llanuras de la costa, con densidades de riqueza de especies bajas (alrededor de 6 especies arbóreas con DAP mayor a 10cm por ha), y donde los extremos son áreas cuya

presencia de una especie es homogénea y dominante como el Algarrobo (*Prosopis pallida*) o cuya densidad es tan baja que asemeja a una sabana arbórea sin vegetación herbácea.

B) BTES DE MONTAÑA

Ubicado principalmente sobre las vertientes y cadenas occidentales de los andes, con altitudes de hasta 1800msnm. La densidad y riqueza de especies es mucho más alta, se estima alrededor de 20 especies arbóreas con DAP mayor a 10cm por ha. Linares-Palomino (2002), reporta densidades de 524 individuos y un mínimo de 27 especies arbóreas con DAP mayor o igual a 10cm para una sola ha. Las especies más representativas son Algarrobo (*Prosopis sp*), Huarango (*Acacia huarango*) y Sapote (*Capparis scabrida*).



Figura 3 Tipos de Bosque Tropical Estacionalmente Seco (BTES). a) BTES de llanura, b) Bosque tropical estacionalmente seco de Montaña (Linares-Palomino 2004).

Los suelos pueden diferenciarse en marinos aluviales y coluviales. Los suelos marinos van desde las pampas cercanas al mar hasta los primeros contrafuertes de la cordillera, de topografía plana, en algunos casos con problemas de drenaje por napa freática alta. Los suelos aluviales ocupan los valles de los ríos y quebradas formando terrazas y llanuras de inundación, de topografía plana ligeramente ondulada, muy heterogéneos en cuanto a textura y profundidad. Los suelos coluviales son de naturaleza gravosa y de topografía ondulada a muy ondulada.

Las precipitaciones varían de 5 a 1182mm, que corresponden a un clima sub-árido, caracterizado por una fina precipitación pluvial en la zona más árida. En Lambayeque, los promedios de la temperatura media anual varía de 19.9 a 23.9°C y de 14.7 a 24.5°C en Piura.

La formación geológica que predomina en la zona es de origen sedimentario y pertenece a la fase continental, se le denomina Cuaternaria Reciente, son los depósitos Cuaternarios más modernos que se hayan distribuidos en el flanco occidental de la cordillera. En esta formación se encuentran los depósitos aluviales, fluviales y eólicos que están constituidos por conglomerados de grava arena y arcilla.

La disponibilidad de agua de esorrentía es estacional (enero-marzo), en los periodos más lluviosos. La utilización de las aguas subterráneas principalmente se hace mediante norias, que sirven tanto para abastecerse de agua para el consumo humano, como de los animales. La napa freática se encuentra a profundidades que varían entre 8 y 120m. (Tarazona *et al.*, 2001)

2.2 EL FENÓMENO DE “EL NIÑO” Y SU RELACIÓN CON EL BTES ECUATORIAL

2.2.1 FENÓMENO “EL NIÑO”

Las fuertes lluvias e inundaciones ocurridas en los últimos años, en el norte del Perú, han tenido serias repercusiones sobre la infraestructura socioeconómica y no solo eso, también favorecieron el establecimiento de vegetación en la costa norte. No hay duda que las alteraciones en la atmósfera, en el Océano Pacífico Ecuatorial, forman parte del Complejo Fenómeno El Niño. Este Fenómeno se puede definir como la presencia de aguas anormalmente más cálidas por un período mayor de 4 meses, tiene su origen en el Pacífico Central Ecuatorial, debido al debilitamiento de los vientos del Este o a su reemplazo por los vientos del Oeste (WOODMAN, 2001). La presencia de estas aguas cálidas en la costa occidental de Sudamérica causan grandes fluctuaciones en el clima, manifestándose con lluvias anormalmente torrenciales en algunas regiones del planeta (Costa árida del Perú) y sequías en otras (Australia e Indonesia) influenciando al sistema ecológico mediante cambios bruscos en algunos casos hasta en forma favorable.

C) IMPORTANCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO

Supone una alteración climática de alcances y consecuencias sumamente importantes, por su amplitud geográfica y la intensidad de sus efectos. Los episodios de gran magnitud como el de 1982/83 tienen características de gran catástrofe. En el Perú, en 1983, como consecuencia hubo una disminución del Producto Nacional Bruto de 12.6%. Todos los episodios del fenómeno tienen trascendencia socioeconómica grande por sus repercusiones en la actividad agrícola y pesquera en las costas de Sudamérica (Vera, 1985).

En el intenso fenómeno pluvial del año 1983, se calcula que se regeneraron 2.5 millones de hectáreas adicionales lo cual coinciden con los datos del INRENA, que para el año 1988 estimaban la existencia de 3,031.400 has de bosque seco, sin incluir matorrales. Concordante con ello, el Mapa Forestal del Perú de 1995 identifica una superficie de 2,778.250 has de bosques secos localizados en la costa. Por otro lado, el Proyecto Algarrobo en 1993, mediante inventarios forestales, determinan que en el departamento de Lambayeque existían 138,125 has de “bosques secos en establecimiento”.

Estas cifras muestran la validez de la hipótesis de que el manejo de la regeneración natural merced a los periodos lluviosos excepcionales es la principal alternativa para la conservación de los bosques secos y deja fuera de contexto a la regeneración por plantación. De acuerdo a cálculos aproximados, la instalación de plantaciones de algarrobo con riego costaría alrededor de US \$3000/ha, hasta su establecimiento definitivo. Utilizando los datos del inventario forestal de Lambayeque, se hubiera necesitado US \$ 414 millones para lograr el establecimiento por plantación de las 138,125 has de bosques regenerados.

Como se trata de una alteración climática de gran escala y magnitud, es de suma importancia conocer la historia del fenómeno. Con esto, se estaría aportando con estudios que puedan ayudar en un futuro a entender mejor su comportamiento, permitiendo desarrollar pronósticos climatológicos de este fenómeno llevándonos al aprovechamiento de periodos de lluvia estacional y eventos tales como el Niño ayudando al bosque seco a recuperar su masa vegetal, así como también, mejorar la calidad de vida de las poblaciones asentadas (Arntz et al., 1985).

D) REGISTROS DEL FENÓMENO “EL NIÑO”

Para comprender este fenómeno se requiere de una reconstrucción detallada de sus ocurrencias en el pasado. En el Perú, tales eventos han sido registrados en diferentes tipos de archivos siendo explicados a continuación.

Registros instrumentales, aquellos archivos que guardan datos de parámetros físicos de la atmósfera y el océano como presión, temperatura y precipitación, entre otros medidos con equipos adecuados registrados y procesados con rigor técnico. Archivos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI y el Instituto del Mar Peruano (IMARPE) contribuyen al registro de informaciones meteorológicas.

Registros históricos, a partir de fuentes escritas o archivos históricos pudiéndose establecer fluctuaciones climáticas en el Perú que estaría relacionadas con el fenómeno El Niño. Estos archivos cubren el periodo desde la llegada de los españoles. Fuentes históricas del siglo XVI indican la ocurrencia un evento muy fuerte en 1578, dos eventos fuertes en 1593 y 1596 y uno moderado en 1574 (Arntz et al., 1985).

Registros arqueológicos, aquellas que provienen de excavaciones u observaciones arqueológicas con un rango de hasta 10000 años pertenecientes al Holoceno. Documentar eventos muy fuertes del fenómeno El Niño que hayan producido grandes cambios geomorfológicos y ambientales cuyo impacto afectó considerablemente el normal desarrollo de las sociedades en estudio, la técnica de registro más común es la datación radiocronológica C_{14} .

Registros por depósitos de inundación, referido a fuertes lluvias asociadas al Niño que producen inundaciones que depositan sedimentos característicos en valles afectados. En el valle del Rio Casma, Wells (1987; 1990) identificó 18 unidades sedimentarias de inundación interpretables como relacionadas a otros tantos eventos de El Niño ocurridos durante el Holoceno.

Registros por alteración biológica, la flora y fauna litoral de la costa han sido temporal o profundamente alteradas (Barber & Chavez, 1983; Arntz et al., 1985). Ciertas reacciones de moluscos marinos (stress) o adaptación han quedado grabadas en las partes duras de estos

organismos conservadas en depósitos sedimentarios, migraciones temporales se pueden obtener de la distribución geográfica anormal de ciertos taxones, especies de árboles cuyo anillado permita localizar las anomalías o “señales” ligadas a fases de fuertes lluvias viéndose como una disminución (en caso de comportarse en forma indirecta) o un alto crecimiento (en caso de comportarse en forma directa) y también por la medición y control de crecimiento de dichas especies (Rodríguez et al, 1993; Rodriguez *et al.*, 2005).

E) PRINCIPALES EVENTOS Y SU OCURRENCIA EN LA HISTORIA DEL FENÓMENO “EL NIÑO”

Las primeras observaciones de eventos “El Niño” fueron hechas por Dr. Victor Eguiguren en 1894 en un estudio sobre las “Lluvias en Piura” publicado en el “boletín de la sociedad geográfica de Lima”. Según este autor el año anómalo de 1891 se caracterizo por lluvias torrenciales producidas en la zona norte con pérdidas de vida y áreas de cultivo (Cuadro 1).

Los indicios y la poca información que se tiene del evento de 1891, supone que las lluvias permanecieron en la zona norte hasta el mes de abril y en los meses posteriores posiblemente comenzó su retorno a la normalidad. Esta suposición estaría confirmada por el hecho de que muchas embarcaciones hallaron a fines de marzo una temperatura de 27°C - 28°C cerca de Galápagos, siendo un promedio 22-24°C normal para esa zona y esa época.

En 1925 el fenómeno fue de gran intensidad, siendo la principal característica su duración y sobre todo la intensidad de precipitaciones pluviales que se produjeron ese año, acusando una serie de inundaciones y en general una secuela de desastres. Se considero que su origen se debía a erupciones submarinas, posteriormente se desmintió.

El 1965 se presentó en las costas de Perú entre los meses de marzo y abril caracterizándose por temperaturas de 24-25°C.

En 1975, en febrero-marzo se reporto una trasgresión de aguas de la región ecuatorial hacia el sur-este, sin llegar a la costa peruana, replegándose luego en abril-mayo y fue considerado un aborto de “El Niño“. En el Ecuador, las aguas superficiales tuvieron una temperatura mayor a 27°C. En 1976, frente a las costas del Perú en enero-febrero, se observo un calentamiento de la temperatura de la superficie del mar al norte de los 15°S llegando a los 27°C.

El Niño de 1982/83, frente al Perú en el mes de setiembre se observó un calentamiento a lo largo de la costa con anomalías mayores de 2°C que el promedio, el calentamiento continuó en los meses siguientes. En enero de 1983, se observó la presencia de aguas con temperaturas de 26°C -29°C que se extendieron hasta la latitud de 14°S aprox. Este fenómeno es considerado uno de los más intensos del siglo.

El Niño de 1997/98, superó la destrucción de sus precedentes. El calentamiento de las aguas del mar, mostró anomalías desde julio de 1997. Las lluvias superaron los 200mm afectando la infraestructura pública y privada incluso con la pérdida de vidas humanas.

Cuadro 1 Resumen cronológico del evento El Niño en la Costa Peruana según intensidad, recopilación basada en registros meteorológicos, históricos y crónicas. Fuente: Registros del fenómeno El Niño en el Perú Glantz M. H.

<i>Año</i>	<i>Características</i>	<i>Año</i>	<i>Características</i>
1528	muy intenso	1925/1926	Muy intenso
1721	muy intenso	1932	débil
1791	moderado	1940/1941	intenso
1804	moderado	1951	débil
1814	moderado	1953	moderado
1828	intenso	1957/1958	intenso
1845	intenso	1963	débil
1864	moderado	1969	débil
1871	intenso	1972/1973	intenso
1877/1878	moderado	1976/1977	moderado
1884	moderado	1982/1983	muy intenso (Catastrófico)
1891	muy intenso	1987	débil
1911/1912	débil	1997/1998	muy intenso (Catastrófico)
1917	débil	1992	débil
		2002/2003	débil

2.3 LA DENDROCRONOLOGÍA

La palabra Dendrocronología proviene del griego *dendros* que significa árbol, *chronos* tiempo y *logos* ciencia o conocimiento. Es el campo de las ciencias forestales que se concentra en el estudio de los anillos o zonas de crecimiento en la madera y su relación con la edad del árbol (Kennel & Schweingruber, 1995; Correa, 2004; Tomazello Filho, Botosso, Lisi, 2001).

El crecimiento periódico del leño a través del tiempo, es una actividad que conduce a la delimitación de las diversas capas generadas en la madera, debido a las modificaciones temporales en el metabolismo del árbol, más propiamente por las variaciones de la producción y actividad del cambium, tejido meristemático encargado del crecimiento secundario de los árboles (Salisbury & Ross, 1994; Correa, 2004). Según Córdova (2003) es la disciplina que estudia el fechado y la reconstrucción de eventos tales como clima, incendios forestales, actividad volcánica, etc. a partir de los anillos del crecimiento de los árboles, además reúne una gran cantidad de datos de alto valor para el seguimiento y toma de decisiones en el manejo forestal, como registros de crecimiento, cuantificación y seguimiento de los volúmenes producidos, así como las estimaciones de la biomasa y el CO₂ fijado en la madera.

Por otra parte, es una fuente importante de información respecto a la calidad de las mismas, al permitir observar su heterogeneidad, formación y defectos, además, admite la realización de estudios de auto-ecología, evaluación o respuesta de actividades silviculturales y reconstrucción de eventos climáticos, entre otros (Correa, 2003; Tomazello Filho, Botosso, Lisi, 2001).

2.3.1 LA ESTACIONALIDAD Y SU RELACIÓN CON LA DENDROCRONOLOGIA

Durante mucho tiempo se creyó que en el trópico existen muy pocas especies que desarrollan marcadamente capas de crecimiento diferenciado por lo que se pensó que existía un crecimiento continuo durante todo el año (Jacoby, 1989; Vetter, 2000). Antonie Van Leeuwenhoek, en su carta a la Royal Society de Londres del 12 de enero de 1680, describe la anatomía de la madera del *Mauritius ebony* “Ebano” y comenta la existencia de un continuo crecimiento en el hábitat tropical de esta especie. Posteriormente, investigadores de todo el mundo principalmente ecólogos, forestales y anatomistas, se interesaron en estudios fenológicos y anatómicos intentando determinar la formación de anillos de crecimiento anuales en trópicos. Notaron que pocas especies formaban anillos diferenciados y que en pocos casos donde los anillos se han formado estos no indicaban necesariamente que sean anuales. La clave de los resultados estaba en la estacionalidad de alguna condición ambiental que induzca a dormancia y/o a una tendencia al crecimiento de capas cíclicas (Jacoby, 1989; Vetter, 2000; Botosso, Pova de Mattos, 2002).

La carencia de estacionalidad en tópicos por temperatura no permite inducir dormancia, ya que, su fluctuación es relativamente uniforme a través del año, además la temperatura del día excede la fluctuación anual. Solo en el caso que la variación estuviera por debajo del promedio y la temperatura más baja estuviera cerca de los 0°C la inactividad tenderá a ocurrir (Salisbury, Ross, 1994). Este tipo de variación puede ocurrir si, en zonas del subtropical con grandes altitudes (Cordova, 2003). Cabe resaltar también que en regiones tropicales la estacionalidad puede favorecer tanto como desfavorecer el crecimiento dependiendo del grado de sensibilidad o respuesta del individuo al medio y la intensidad de los factores que intervienen en su desarrollo (Worbes, 1995).

Villalba y Boninsegna (1989) estudiaron la conexión de la estructura anatómica con la actividad cambial de *Prosopis flexuosa* en los bosques del Chaco Serrano y Monte Septentrional en Córdoba y Mendoza respectivamente. Identificaron un patrón que permite el correcto sincronizado (crossdating), medición y fechado, lográndose determinar un crecimiento periódico por temperatura lo cual permitió construir la primera cronología de esta especie. Fue estudiada debido a que es una de las pocas especies del género *Prosopis* que se desarrolla en regiones subtropicales con climas estacionales, ya que el resto lo hace en zonas tropicales con poca evidencia de estacionalidad. Los resultados mostraron que por debajo del promedio de temperatura en primavera y por encima del promedio de precipitación la especie era favorecida en crecimiento; esto porque las altas temperaturas originaban una alta evapotranspiración perjudicando el suministro del agua, en el caso de la precipitación favorecía el aumento de agua al crecimiento. Además se observaba que los vasos eran en algunos casos más homogéneos que otros posiblemente al aumento o disminución de la napa freática.

Una estacionalidad por precipitación donde ocurra una estación seca, el crecimiento se vuelve estacional y la formación de anillos es definida principalmente por el periodo de déficit hídrico originando una latencia en el cambium (Ash, 1983; Detienne, 1989; Villalba and Boninsegna 1989; Worbes, 1989) (figura 4). Además, la latencia del cambium también se podría dar por periodos de inundaciones pudiendo estos ocurrir dos o más ciclos en un año desarrollando secuencia de leños iniciales y tardíos (Botosso, Pova de Mattos, 2002; Correa, 2003; Worbes, 2005).

Amobi (1973) estudió las especies de árboles de selva baja de Nigeria observando que la actividad cambial se inicia después de terminar la estación seca. Esta reactivación fue satisfactoriamente correlacionada con la aparición de nuevos brotes tanto como el desplegamiento de nuevas hojas. Se determinó que la periodicidad del crecimiento está fuertemente ligada a la caída de hojas (Povoa de Mattos, Arno, Bolzon de muniz, 1999).

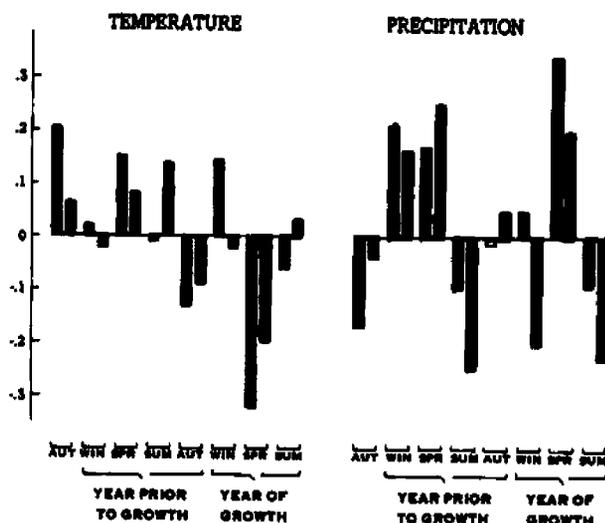


Figura 4 Función de correlación (barra gris) y Función respuesta (barras negras) de la cronología de *Prosopis flexuosa*.

2.3.2 APLICACIÓN Y RELACIÓN CON OTRAS CIENCIAS

La dendrocronología alcanza un elevado nivel de especialización, importancia e aplicación al incorporar los conocimientos y las técnicas de diversas áreas con las cuales tienen una estrecha conexión como la anatomía y química de la madera, fisiología, genética forestal, silvicultura, climatología, hidrológica, estadística, etc. (figura 5).

Esta estrecha conexión con otras disciplinas dio paso al desarrollo de nuevas ramas para el estudio de fenómenos ambientales. Las aplicaciones más importantes de la dendrocronología son: *dendroclimatografía*, se refiere a la aplicación del análisis de los anillos del árbol para el mapeo del clima pasado y presente; *dendroecología*, aplicación para el estudio de la ecología (sucesión de bosque) y el pasado de comunidades bióticas, de los factores que influyen en el ecosistema como por ejemplo cambio en el crecimiento producto del aumento de CO₂ en el

último siglo, competencia, relación edad-diámetro, mortalidad y fenómenos relacionados a la dinámica de bosques como plagas; **dendrohidrología**, para investigar y fechar la dinámica del entorno acuoso, cambios en la hidrología de un sitio, cambios del curso de un río, inundaciones periódicas, crecidas, cambios en los procesos erosivos, cambios a nivel de lagos y represamiento de ríos; **dendrogeomorfología**, investiga el proceso geomorfológico, movimientos del suelo, hundimientos, deslizamientos de tierra, cambios dependientes, erosión del suelo a nivel de raíces y avalanchas de barro; **dendrosismología**, Los efectos de los sismos y terremotos evidenciados por daños físicos en el árbol. A nivel de anillos encontramos rupturas en la superficie, fraccionamientos y ausencia de anillos, daños en la estructura del árbol, como resquebrajamiento de las raíces, regiones de tensión, inclinación del árbol, etc.; **dendroglaciología**, investiga y data la dinámica de los glaciares de antes y de ahora, cambios en el frente de los glaciares tanto por avance como por retracción; **dendroarqueología**, para fechar cuando se derrumbaron los árboles y cuando se emplearon para construcción; **dendropirocronología**, para fechar e investigar la dinámica de los incendios naturales de antes y de ahora (Schweingruber *et al.*, 1990; Roig, 2000; Kipfmüller & Swetnam, 2001; Tomazello, Botosso, Lisi, 2001).

La Dendroclimatología se refiere a investigaciones dendrocronológicas de los climas pasado y presente. El análisis de los anillos de crecimiento permite la reconstrucción climática en épocas donde no se ha tenido registro alguno. Esta reconstrucción puede extender el registro del clima e incrementar su longitud lo suficientemente como para mejorar las estadísticas existentes sobre la variabilidad climática. Además el pasado climático debería brindar a los científicos bases para estimar posibles modelos, sus frecuencias y su extensión geográfica (Fritts, 1976).

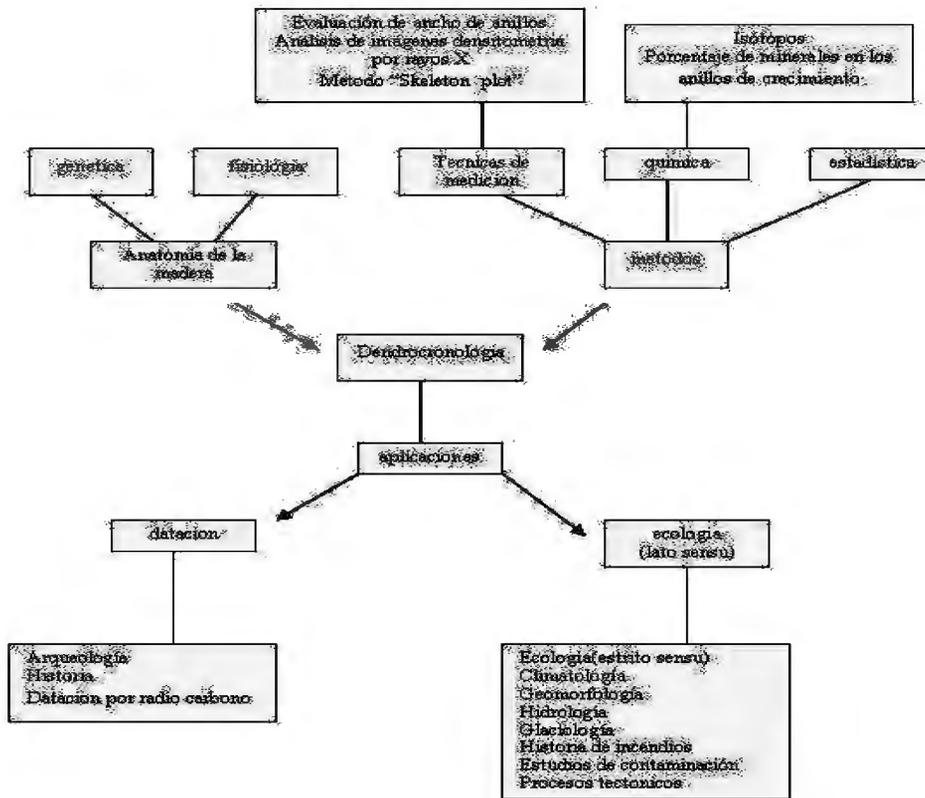


Figura 5 La Dendrocronología y su conexión con otras disciplinas; métodos de análisis y aplicaciones (Kennel & Schweingruber, 1995)

2.3.3 PRINCIPALES MÉTODOS Y TÉCNICAS DE DATACIÓN EN ZONAS TROPICALES

F) MEDICIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

Se basa en la determinación de la edad de los árboles mediante la identificación, reconocimiento anatómico, conteo y medición de los anillos anuales de crecimiento. El ancho de un anillo de crecimiento es obtenido a través de la medición del inicio de la zona clara (leño inicial) al final de la zona oscura (leño tardío) y brinda la cantidad de crecimiento en un determinado año. Los anillos largos indican un crecimiento acelerado, mientras que anillos estrechos un crecimiento más lento (Fritts, 1976, Schweingruber, 1988; Kennel & Schweingruber, 1995) (figura 6).

Para Roig (2000) es una de las metodologías más precisas para determinar la edad de un árbol comprende básicamente de recolección en el campo de la especie seleccionada; preparación

de muestras, medición de anillado, procesamiento y correlación de la series de datos en el laboratorio con el uso de programas especialmente diseñados para este fin y la adecuada aplicación de criterios para la interpretación de los datos.

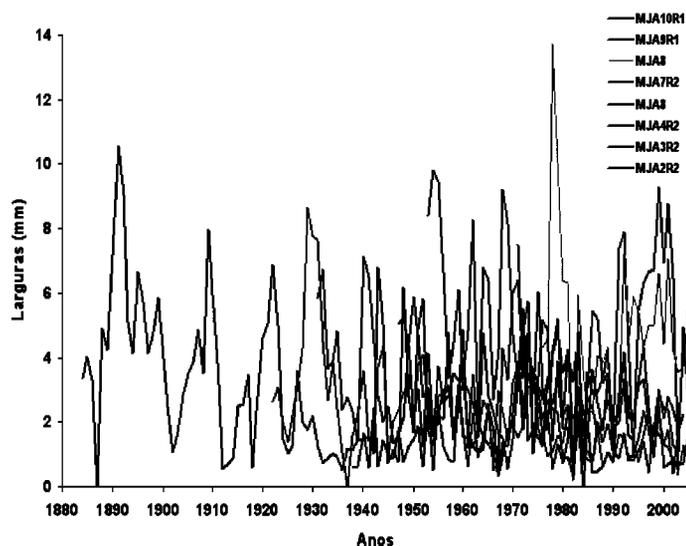


Figura 6 Serie de ancho de los anillos de crecimiento anuales en árboles de Caoba (*Swietenia macrophylla*) en bosque tropical amazónico (Rosero Alvarado, 2009)

El primer record dendrocronológico que contiene una señal del Fenómeno del Niño en el Perú fue realizado con la especie *Bursera graveolens* (palo santo) a través del método de medición de anillos de crecimiento. Se determinó una alta correlación al confrontar el ancho de los anillos con la precipitación en tres lugares; Cerro Arteza con coeficiente de correlación de 0,86, Cerro Vicus con 0,69 y Cerro Montesillo con 0,83 de coeficiente de correlación (Cordova, 2003).

Botosso (2000), determino la periodicidad del crecimiento y la formación de la madera de especies semi-decíduas al noroeste del estado de São Paulo. Analizó ancho de anillos y determinó tasas de crecimiento y su relación con periodos de lluvia y sequía, obteniendo buenos resultados al aplicar sus resultados en la silvicultura, dendrometría, manejo forestal y tecnología de la madera principalmente en la elaboración de tablas de volumen.

Tomazello *et al.* (2000) destacó la importancia de la familia *Meliaceae* resaltando la facilidad de identificación de los límites de anillos de crecimiento y su facilidad para la medición del ancho de los mismos.

G) DENSITOMETRÍA POR RAYOS X

La evolución tecnológica de las técnicas de irradiación en la medición de densidad de maderas no ha sido un camino fácil. Las primeras técnicas en ser utilizadas fueron las micrográficas que resultaron ser en extremo engorrosas. Tras la segunda guerra mundial, se ensayaron técnicas de Rayos β (beta), que consistían en hacer pasar un haz de luz a través de secciones delgadas de piezas de madera, para ser detectado al otro lado por un foto-multiplicador, cuya señal era transformada en una escala de densidad por diversos instrumentos. La lentitud del método y su baja resolución (ancho de lectura de ventana 0,5 mm y su reducida velocidad de lectura 20 a 60 mm/h) lo hicieron poco práctico además los Rayos β desaparecieron del mercado por ser inestables y muy contaminantes Peres *et al.*, (2005).

La técnica de Rayos Gamma (γ) tuvo casi las mismas desventajas; un ancho de lectura de ventana de 1mm y una velocidad de 60 mm/h, más allá de eso según Polge (1966) estos Rayos ejercen sobre la materia leñosa una acción durable modificando de una manera las variables de estudio y características importantes como la resistencia a compresión o flexión, trabajo al choque y también a la afinidad para el agua, restringiendo la utilización posterior de las muestras para estudios de las cualidades físicas o mecánicas.

Posteriormente, la incursión de las técnicas de los Rayos X en el campo forestal representó un gran adelanto tecnológico ya que permite el análisis rápido de las muestras (cerca de 3 minutos para una muestra de 15 cm de largo) y una excelente resolución con un ancho de lectura de ventana apenas algunos micrómetros (Correa, 2004)

La densitometría de Rayos X fue propuesta por H. Polge (1966-1970) en Francia, pero fue desarrollada por M. L. Parker años después (Parker, 1971; Parker y Meleske, 1970; Jones y Parker, 1970; Parker y Kennedy, 1973; Fritts, 1976) usando los Rayos X y la Densitometría para obtener mediciones de densidad en el interior de la madera. Los estudios buscaban evaluar la calidad de las maderas a través del establecimiento de rangos

de densidad máxima y mínima, pendiente de transición de leño inicial y tardío; su proporción y todas las variables importantes para la Silvicultura, Anatomía, Fisiología y Tecnología de Madera (figura 7).

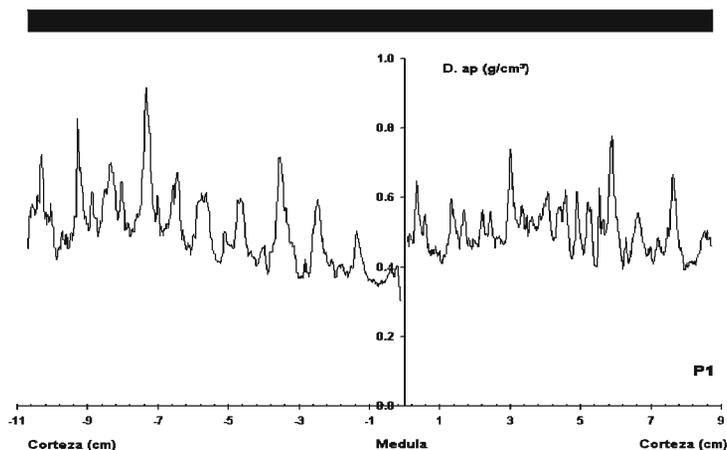


Figura 7 Anillos de crecimiento en árboles de *Pinus radiata*: Variación radial de densidad inter e intra-anillar de crecimiento por densitometría de Rayos X (Melo, 2010).

Los estudios con Rayos X, pueden verse como una actividad netamente investigativa (Correa, 2004), sin embargo, se trata de una valiosa herramienta que permite reunir en un proceso gran cantidad de información de alto valor para el seguimiento y toma de decisiones en el manejo forestal (Worbes, 1995; Schmoltdt et al., 1999; Correa, 2004; Rosero-Alvarado, 2009; Campos-Zumaeta, 2009). La generación de imágenes densitométricas del interior de piezas de madera, tanto para la apreciación visual de defectos internos como para la evaluación cuantitativa de los mismos, permite la clasificación automatizada de piezas rollizas y medición de madera por rangos de uso, de acuerdo a su resistencia, densidad, nudosidad, presencia de otras limitantes (grano en espiral, pudrición interna, ataques de insectos xilófagos, colapsos debidos a mal secado, etc.) y la evaluación de la calidad de los tableros de partículas y MDF.

a) Variación intra-anillar

La mayor variabilidad de la densidad del árbol ocurre dentro de un árbol (Larson, 1967). Particularmente dentro de un anillo anual de crecimiento, por la formación de leño inicial (directamente bajo la influencia de la copa poseyendo anillos anchos de baja densidad) y del leño tardío (con anillos más estrechos, de alta densidad). Existe una tendencia de la densidad

que va de la base a la copa, en donde la mayoría de las veces es de una disminución al aumentar la altura. (Dadswell, 1960; Polge & Illy, 1967; Sluder, 1972). Así mismo, los árboles más viejos poseen mayor densidad debido a mayor porcentaje de madera adulta y a la deposición de materiales resinosos en el duramen (figura 8).

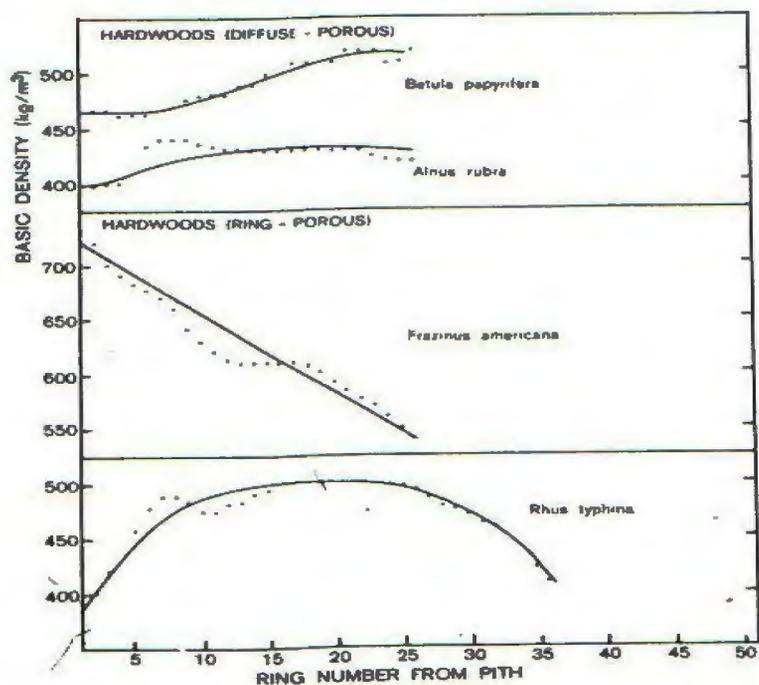


Figura 8 Variación de la densidad inter e intra anillar de la médula a la corteza en árboles de Betula (*Betula papyrifera*) y Fresno (*Fraxinus americana*).

b) Variación Inter-anillar

La densidad de la madera de un árbol es determinada por la interacción de las características de crecimiento intrínsecas del propio individuo, de las condiciones ambientales y de la situación geográfica, que, en conjunto con prácticas silviculturales pueden dar a los árboles diferentes modelos de crecimiento y formación de leño (Louzada, 1990)

Generalmente las diferencias entre especímenes de una especie o entre procedencias son grandes. Sin embargo, el patrón de variación árbol/árbol dentro de una misma especie es constante. McGraw (1985) mostró que en cualquier grupo de árboles de *Betula papyrifera* la variación en la densidad de 0,13 a 0,21 unidades puede ser esperada para cualquier criterio comparable de muestreo.

Aplicación de la densitometría por Rayos X en estudios dendrocronológicos

La aplicación de esta técnica en estudios de anillos se basa en que las concentraciones de los elementos dentro de un anillo correlacionan la periodicidad de crecimiento del mismo por medio de la exposición a Rayos X que puede identificar la periodicidad en concentraciones de elementos dentro del anillo (Harju *et al.* 1996).

Para la dendroecología el uso de la densitometría por los Rayos X permite obtener más información acerca de las variaciones en el crecimiento que una simple medición de ancho de anillos que ha sido usado a principios de la evolución de esta ciencia (Fritts, 1976). Provee además al investigador con mediciones cuantitativas de ancho de leño inicial, densidad de leño inicial, mínima densidad, ancho de leño tardío, densidad del leño tardío, máxima densidad.

A partir de los trabajos de Polge (1968) innumerables trabajos fueron realizados en el área de la densitometría de Rayos X relacionando las variables intra-anillares de densidad con factores ambientales en los campos principalmente de climatología, hidrología y ecología (Amaral, 1998; Tomazello *et al.*, 2008).

Akachuku (1981, 1984 y 1985b) utilizó el perfil de densidad de la madera por densitometría de Rayos X para determinar el ancho de los anillos de crecimiento y estimar el crecimiento del fuste en los árboles. Aplicó el valor de la densidad media de la madera para establecer su relación con el índice de precipitación anual.

Vetter & Botosso (1989), determinaron una correlación positiva entre la gráfica de variación de densidad intra-anillar por Rayos X en la especie *Cedrelinga catenaeformis* y la precipitación en la Amazonía Brasileña, las curvas de densidad arrojadas por Rayos X se correlacionaban mejor que las curvas de densidad por Rayos gamma con la precipitación.

Tomazello *et al.* (2000) demostró que los anillos en árboles de *Cedrela odorata* y *Toona ciliata* mostraban una formación anual verificados por el ancho y el número de anillos aplicando densitometría por Rayos X.

Rosero-Alvarado (2009) y Campos-Zumaeta (2009) aplicaron densitometría de Rayos X a *Swietenia macrophylla* y *Cedrelinga catenaeformis* para identificar el límite exacto de los anillos de crecimiento y relacionar la densidad aparente (calidad de la madera) en individuos de

bosque natural y plantaciones respectivamente encontrando diferencias significativas según la edad de los individuos evaluados.

El poder visualizar las variaciones de la densidad a través de un corte de Rayos X y relacionarlas con la presencia de anillos o zonas de crecimiento en la madera (Correa, 2004) permite la aplicación directa de un sin número de campos y una alternativa o pre-requisitos para los análisis dendrocronológicos y de demarcación de zonas de crecimiento en muchas de las maderas de las especies de zonas templadas y tropicales. Es una valiosa herramienta que permite reunir en un proceso gran cantidad de información de alto valor para el seguimiento y toma de decisiones en el manejo forestal (Worbes, 1995; Schmoldt et al., 1999; Correa, 2004; Tomazello *et al.*, 2008; Campos-Zumaeta, 2009; Rosero-Alvarado, 2009)

H) ISOTOPÍA RADIOACTIVA

Es el estudio de isótopos estables de Carbono (^{14}C), Oxígeno (O_{18} , O_{16}) y Nitrógeno (N) de anillos de crecimiento y aplicados a climatología, ecología e hidrología. Estos análisis son caros y requieren de personal altamente entrenado (Mozetto *et al.*, 1988; Worbes & Junk, 1989; Camargo *et al.*, 1994; Worbes, 1995; Chambers *et al.*, 1998; Vetter, 2000; Botosso y Povia de Mattos, 2002). Para Roig (2000) las determinaciones de la edad por este método pueden presentar errores relevantes en relación a las altas variaciones de radiocarbono atmosférico (Stuiver *et al.*, 1981; Botosso y Povia de Mattos, 2002).

Grissino (2005) aplico el análisis de isótopos de oxígeno al estudio de huracanes encontrando vestigios en la celulosa de los anillos anuales del crecimiento de *Pinus palustris* cerca de Valdosta, Georgia. Analizó todos los tejidos finos de los árboles con una caída repentina en un isótopo particular del oxígeno (Oxígeno 18 – O_{18}) que sería la señal del huracán, puesto que estos sistemas atmosféricos son muy buenos en agotar el O_{18} -18 en el aire. Por lo tanto, hay concentraciones inusualmente bajas de O_{18} en el agua de las lluvias de los huracanes. Así, cuando las raíces de los árboles del sudeste, como el pino de larga hoja y el pino de la raya vertical, toman ese agua de la lluvia del huracán con bajo contenido en O_{18} , la misma señal isotópica inusual se preserva en las células del árbol que comienzan a crecer tan pronto acabado el fenómeno atmosférico marcando el momento exacto en que el árbol toma el agua de la tormenta en los días inmediatamente después de la tormenta.

En el trópico la técnica de isotopía permite estimar las variaciones de precipitación pasadas asociadas con el Fenómeno del Niño y también la posibilidad de proveer un control dendrocronológico de los árboles con variación isotópica interanual bien definida. Resultados preliminares del Algarrobo de Piura (figura 9) indican una fuerte señal isotópica que probablemente muestre el evento del Niño de 1997-98 (Rodríguez et al., 2005)

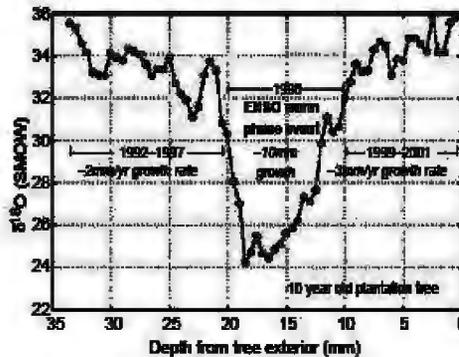


Figura 9 Isótopo de Oxígeno (O18). Muestra de *Prosopis pallida* observándose una señal fuerte debido al ENSO de 1997–98 (Evans and Schrag, 2004).

1) MEDICIONES CONTINUAS DE LA CIRCUNFERENCIA Y/O DIÁMETRO DE LOS ÁRBOLES:

Método dinámico que consiste en la implantación de fajas dendrometrías permanentes en el tronco de los árboles. Permiten la medición continua del crecimiento diametral o de la circunferencia determinando los periodos de actividad cambial en relación al ritmo de crecimiento y las variables climáticas mediante su asociación con marcaciones anuales del cambium y fenología. (Botosso; Tomazello, 2001). Según Roig (2000) la probable fuente de error de este método es el propio ritmo de crecimiento, no constante, durante toda la vida. Esta metodología es muy utilizada como parte de la aplicación de la dendrocronología principalmente en dendroecología y la dendroclimatología.

En África, y en Guyana francesa, Mariaux (1979,1970), Détienne (1976), Détienne & Mariaux (1977), Détienne et alii (1988), Détienne (1989) utilizaron fajas dendrométricas de acero inoxidable para estudiar el ritmo, la tasa de crecimiento y la periodicidad de los anillos en árboles tropicales. En Francia Marien y Thibout (1980) evaluaron el ritmo de crecimiento de *Eucalyptus spp* con fajas dendrométricas de aluminio y lectura con paquímetro. Jalil *et al*

(1998) determinaron la periodicidad de crecimiento de *Hevea brasiliensis* con dendrómetros de aluminio. Vetter (1995) y Botosso *et al* (2000) determinaron la periodicidad y tasa de crecimiento del tronco de los árboles tropicales con dendrómetros de cintas de acero inoxidable. Botosso y Tomazelo (2001) determinaron variaciones en la tasa de crecimiento de tres especies forestales tropicales (*Cedrela odorata*, *Eperua bijuca*, *Calophyllum angulare*) relacionadas estrechamente a la precipitación y la disponibilidad de agua en el suelo en la estación lluviosa y la ocurrencia del periodo de seca con reducción de la actividad cambial (figura 10).

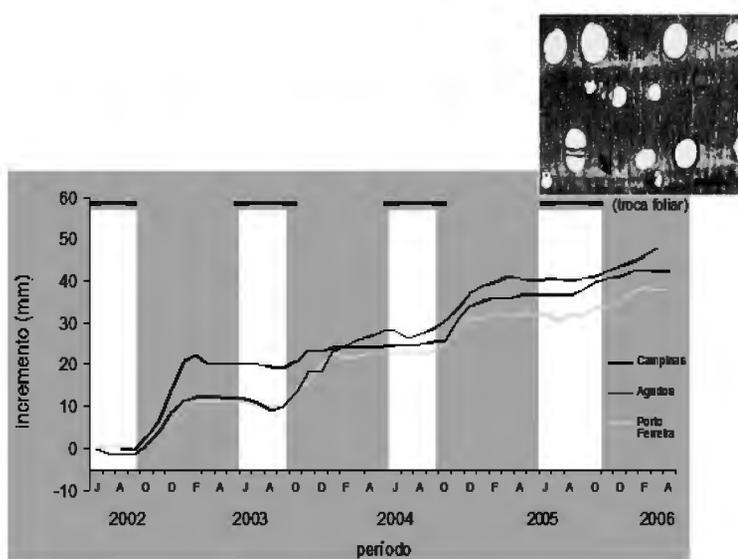


Figura 10 Relación entre el incremento radial de *Cedrela odorata* (líneas finas), con los cambios de la copa del árbol (línea en puntos) y con el periodo anual de sequía (columnas claras).

2.4 ESTRUCTURA INTERNA DE ANILLOS DE CRECIMIENTO EN LATIFOLIADAS

2.4.1 SENSIBILIDAD Y ESTACIONALIDAD DEL CÁMBIUM

Los efectos de factores ambientales en la estacionalidad cambial fueron observados por Waisel y Fahn (1965) quienes mostraron que la temperatura y el fotoperíodo son factores importantes que controlan la activación cambial y la formación del leño de verano y primavera.

El déficit de agua es considerado también un factor limitante que controla la activación cambial (Aljaro *et al*, 1975). Frente a cambios que llegan a ser cada vez más limitantes, como la sequía, la actividad cambial disminuirá originando un stress hídrico produciendo notablemente cambios en la cantidad y la calidad de las células del xilema (Wareing, 1958; Priya and Bhat, 1999).

Priya y Bhat (1999) estudiando la especie *Tectona grandis* observaron que la actividad cambial comienza cuando la temperatura antes de una lluvia y el fotoperiodo aumentan en el mes de diciembre, llegando a alcanzar altas tasas de división celular a niveles máximos en el mes de febrero. Con la reducción gradual de parámetros climáticos el cambium reduce su actividad cuando los factores del crecimiento son limitados (mes de Agosto).

Cardoso & Tomazello (1999) determinan que al principio de la actividad fisiológica en teca (finales de noviembre a inicios de diciembre) la zona de cambial se compone de 3-11 capas de célula, alcanzando 12-20 en su actividad más alta (diciembre a febrero). Las células de cambium aumentaron su diámetro tangencial con las paredes de la célula afinadas hacia abajo. En el período de baja actividad fisiológica (setiembre a noviembre) el número de células disminuye a 3-11 capas de célula y estas muestran una reducción en su dimensión tangencial con una expansión simultánea de la dirección radial.

Las variaciones estacionales de crecimiento celular y morfología eran previamente descritas por Rao y Dave (1981) en *Tectona grandis*, por Dave y Rao (1982) en "melia" *Gmelia arbórea*, por Aljaro (1972) y Ajmal e Iqbal (1987) para numerosas maderas tropicales duras y blandas.

Chernauskaya, *et al.* (1999), demostró en *Pinus tropicalis* al relacionar la variabilidad inter-anual de la precipitación con el crecimiento del anillos, que una disminución de por lo menos 150 mm de precipitación mensual media fue necesaria para la formación de madera más oscura y más densa después del leño primaveral. En cambio un incremento en el promedio mensual de la precipitación de 70-100mm fue suficiente para inducir la formación de leño primaveral. Los árboles aparentan ser más sensibles a un aumento en la precipitación durante una temporada seca y a la reducción de la precipitación durante un período lluvioso. Se encontró que la

formación de leño primaveral no ocurría cuándo el promedio de la precipitación mensual era menos que 200mm.

2.4.2 ANILLOS DE CRECIMIENTO

Se da como consecuencia del crecimiento radial originado por el cambium formando xilema secundario durante el periodo de crecimiento. A nivel anatómico el cambium produce elementos de mayor diámetro en primavera (Leño primavera) y de menor diámetro y paredes más gruesas en invierno (Leño verano); la actividad de todo el año forma así un anillo de crecimiento (Stokes & Smiley, 1996) (figura 11).

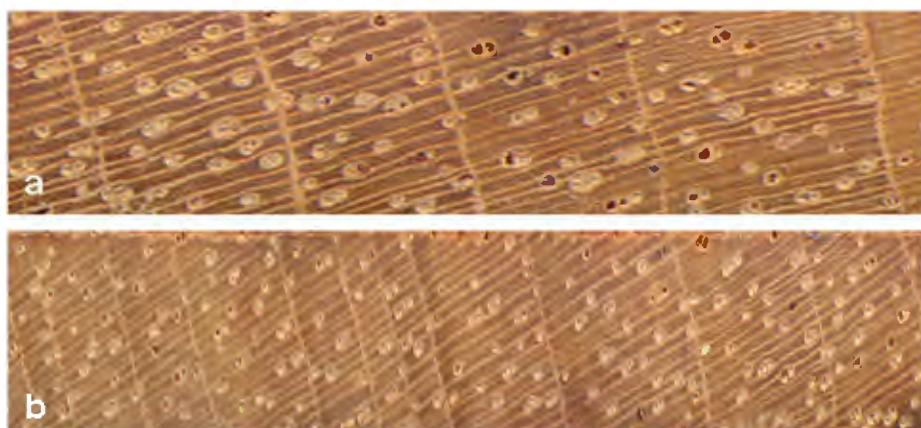


Figura 11 Anillos de crecimiento del leño de la especie *Swietenia macrophylla*. Variabilidad de los anchos de anillos (largos y estrechos) (Rosero Alvarado, 2009).

Existen evidencias que indican que su formación está relacionada a la disponibilidad fotosintética y presencia de auxinas (Haygreen y Bowyer 1996; Stokes & Smiley, 1996; Hienrich, 2004). La formación de células de grandes diámetros, características de maderas tempranas, aparentemente depende de la abundancia y auxinas y del desarrollo de paredes celulares gruesas con proceso de fotosíntesis a plenitud.

Su formación se inicia a principios de la primavera cuando las plantas se encuentran sin hojas y con brotes hinchados, los azúcares usados en aquel proceso de crecimiento son aquellos que han sido almacenados en las raíces o en otras partes del árbol previamente. A medida que nuevas hojas emergen y empieza la fotosíntesis, las hojas completan su desarrollo al mismo tiempo que el crecimiento del meristemo apical que se inicia con rapidez, debido a la presencia

de gran cantidad de auxinas. Así, la mayor cantidad de azúcar disponible en este momento es destinado a la producción de nuevas hojas y raíces; y una cantidad muy reducida es usada para el engrosamiento de las paredes celulares producidos por el cambium (Shepherd, 1964; Haygreen y Bowyer 1996; Hienrich, 2004)

Al final de la estación de crecimiento, factores tales como sequía, causan la reducción de auxinas y producción de células de diámetro pequeño; mientras tanto, la acumulación de inhibidores de crecimiento causa reducción en el ritmo de producción de nuevas células, cesando a su vez el crecimiento de nuevos brotes y desarrollo de nuevas hojas. Por lo tanto el producto fotosintético producido por las hojas desarrolladas a plenitud, está disponible para la síntesis de la pared celular. Posteriormente, el resultado serán células de paredes gruesas y diámetros pequeños (Stokes & Smiley, 1996; Haygreen y Bowyer 1996).

J) CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DEL ANILLO DE CRECIMIENTO

En maderas angiospermas dicotiledóneas comúnmente llamadas latifoliadas los anillos de crecimiento pueden destacarse por determinadas características anatómicas (Grosser, 1977) tales como:

- Presencia de una faja de células parenquimáticas en los límites de los anillos de crecimiento (parénquima marginal) que aparecen como una línea tenue de tejido más claro. Ejemplo: *Liriodendron tulipifera* (Magnoliaceae), *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae (figura 12a).
- Alargamiento de los radios en los límites de los anillos de crecimiento (aspecto solo visible bajo microscopio). Ejemplo: *Liriodendron tulipifera* (Magnoliaceae), *Balfourodendron riedelianum* (Rutaceae) (figura 12a).
- Concentración o mayor dimensión de los poros al inicio del período vegetativo (leño temprano) y mucho más pequeños y generalmente menos numerosos -o sea más compactos con fibras de paredes gruesas- al final del año de crecimiento (leño tardío). Este tipo de conformación es también llamada madera de porosidad circular. Ejemplo: *Catalpa bignoniodes* (Bignoniaceae), *Cedrela fissilis* (Meliaceae) (figura 12b).

- Pequeñas variaciones en la estructura celular de un anillo de crecimiento, por lo que la formación de anillos de crecimiento son difíciles de detectar, debido a que los poros son de aproximadamente el mismo tamaño en todo el anillo de crecimiento -aquí generalmente se produce una mayor proporción de fibras-. Este tipo de maderas se les denomina madera de porosidad difusa. También cuentan con un engrosamiento diferencial de las paredes de las fibras de forma análoga al que ocurre en las gimnospermas. Ejemplo: *Pyrus communis* (Rosaceae), *Mimosa scabrella* (Mimosaceae) (figura 12c)
- Alteración en el espaciamiento de las fajas tangenciales de un parénquima axial (reticulado o escaleriforme) como en sapotáceas y lecitidáceas. Ejemplo: *Cariniana decandra* *Lecythidaceae*. Este fenómeno puede venir acompañado adicionalmente por un menor número o ausencia de poros en el leño tardío (zona fibrosa) (figura 12d).

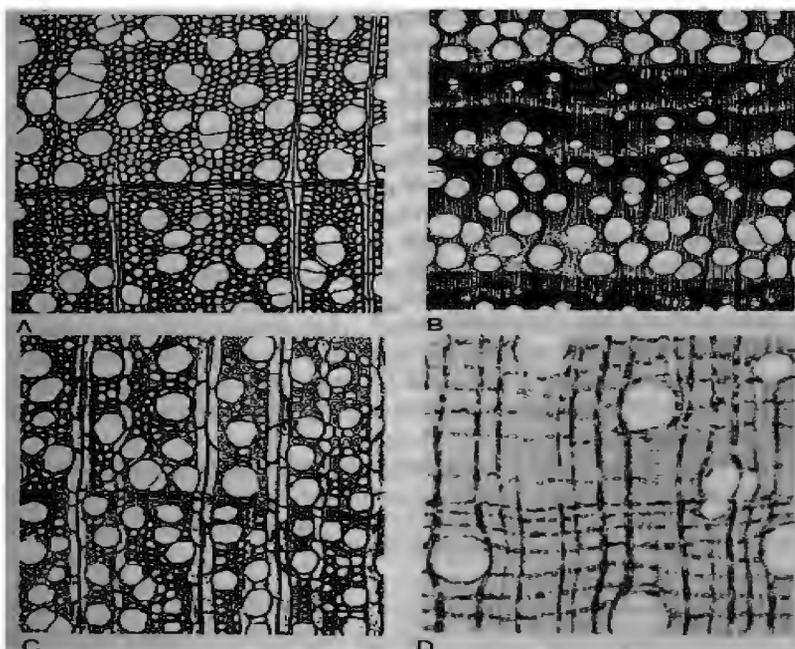


Figura 12 Características anatómicas que destacan los anillos de crecimiento en angiospermas: a) Parénquima marginal y ensanchamiento de los radios en el límite de los anillos de crecimiento (*Liriodendron tulipifera* L.- *Magnoliaceae*); b) Porosidad en anillo (*Catalpa Bignonioides* Walt.- *Bignoniaceae*); c) Espesamiento diferencial de las paredes de las fibras al final del periodo vegetativo (*Pyrus communis* L.- *Rosaceae*); d) Alteración en el espaciamiento de las fajas tangenciales de parénquima axial (*Cariniana decandra* Ducke – *Lecythidaceae*) (Grosser, 1977)

K) ANILLOS DISCONTINUOS Y FALSOS ANILLOS

Se forman debido a que el crecimiento es interrumpido por situaciones tales como: sequía, heladas, defoliación por ataque de insectos, granizo, pérdida temporal del follaje causada por heladas tardías, ataques de hongos, de insectos o debido al estímulo de crecimiento fuera de la época motivado por condiciones favorables; en la primera estación seca seguida de otoño lluvioso, disponibilidad súbita de nutrientes, eliminación de competencia, etc. (Burger; Richter, 1991; Priya & Bhat, 1999). Trae como consecuencia una lenta o latencia en el crecimiento apical. La producción de auxinas se reducirá causando la formación de células del tipo de madera tardía. Si las situaciones que ocasionan este lento crecimiento son seguidas por condiciones favorables, patrones normales de crecimiento tenderán a ocurrir, es decir, la producción de células de paredes delgadas y lumen amplio típico de maderas tempranas (Haygreen, Bowyer, 1982; Salisbury & Ross, 1994; Hienrich, 2004).

Microscópicamente la capa de células de paredes gruesas que determinan el anillo falso decrece gradualmente tanto para el interior como para el exterior del tronco, mientras que, en anillos verdaderos, el límite entre el leño tardío y el inicial es siempre abrupto (Burger, Richter, 1991)

Un anillo discontinuo es el resultado del estado de dormancia en que permanecen en uno o más lugares el cambium. Tal dormancia, se ha reportado por insuficiente disponibilidad de auxinas a una porción del cambium (Larson, 1956) y deficiente localización de alimentos (Hartig, 1889). Así mismo, anillos discontinuos se presentan ocasionalmente en árboles donde un lado de las ramas han perdido las hojas y árboles sobre maduros (Kramer & Kozlowski, 1979; Schweingruber, 1988) (figura 13).

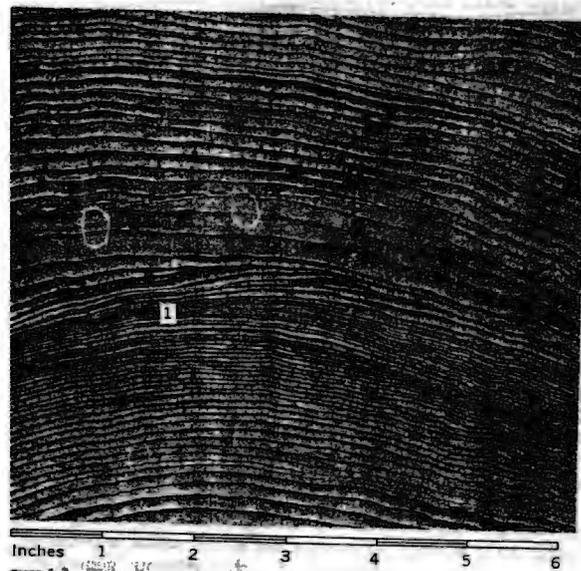


Figura 13 Anillos discontinuos en *Pinus taeda*

Estos anillos discontinuos ocurren principalmente en árboles viejos que presentan copa asimétrica. El cambium en una o más regiones del tronco permanece en dormancia durante una o varias estaciones de crecimiento provocando discontinuidad del anillo; sin embargo, se dan también en casos de árboles jóvenes sobre todo aquellos que han sido dañados naturalmente formando cicatrices y por ende pérdida de crecimiento cambial en esa zona afectada (Larson, 1956; Schweingruber, 1988; Hienrich, 2004).

Hiendrich (2004) en su trabajo con *Toona ciliata* "Cedro australiano" propuso algunas consideraciones para la correcta identificación de anillos falsos donde se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- *Anillos de crecimiento demasiado estrechos*; donde los anillos estrechos parecen carecer completamente solo de madera tardía consistiendo en vasos grandes rodeados de tejido de parenquimatoso visibles aquí como agujeros negros separados por líneas verticales ligeras. Sin embargo, es muy probable que anillos estrechos no sean causados por condiciones climáticas restringidas pero si más probablemente por otros factores como por ejemplo: competencia dentro del bosque o tasa de crecimiento propia de la especie. En otros casos pueden ser utilizadas como "años marcadores" gracias a su sensibilidad a los efectos de eventos climáticos prolongados

- *Dificultad de la identificación del límite del leño temprano o tardío*; por la falta de características como bandas de parénquima y graduación del tamaño de vasos (porosidad circular y difusa).

- *Cuando el límite del anillo de crecimiento adyacente es menos claro*; debido al tamaño del poro y la proporción de la pared celular de la fibra al lumen mostrando un color que no cambia marcadamente.

Rosero Alvarado (2009) en su estudio dendrocronológico de la especie *Swietenia macrophylla* provenientes del bosques tropical amazónico caracterizó los diferentes anillos falsos encontrados. Reconoció dos tipos de anillos falsos siendo el primero; localizado antes del anillo verdadero con una faja de parénquima marginal fina a muy fina y otra espesa sin interrupción de la porosidad difusa del anillo y segundo, anillos falsos muy estrechos de espesor fino con vasos de iguales dimensiones a lo largo del parénquima pudiendo ser ausentes y con vasos muy próximos y achatados.

L) ASPECTOS EN LA FORMACIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO, RELACIÓN DE SU FORMACIÓN FRENTE A FACTORES AMBIENTALES

Los árboles han mostrado una reacción a las variables ambientales como temperatura, precipitación, etc. que afectan sus numerosos procesos fisiológicos como respiración, flujo de savia, transpiración, etc. reflejando en la actividad cambial y en la formación de anillos de crecimiento. Por lo tanto, las variables ambientales son registradas en los anillos de crecimiento, que expresan los eventos ocurridos en el pasado y en el presente año.

La actividad cambial de los árboles es, en consecuencia, la formación de los anillos de crecimiento, e influenciado por su genotipo (crecimiento, forma, longevidad, sensibilidad de los anillos de crecimiento y de la estructura anatómica de la madera, etc.), factores bióticos (asociados con micorrizas, o microorganismos patógenos, etc.) y abióticos (luz, temperatura, agua, nutrientes, viento, polución del suelo, del aire, fuego, etc.) (Tomazello *et al.*, 2001).

Un modelo simplificado por Fritts & Shashkin (1995) describe los más importantes procesos fisiológicos, mostrando las interrelaciones de los factores ambientales, del suplemento de

nutrientes y de los reguladores de crecimiento en el crecimiento de la raíz y del tronco y en la actividad cambial de los árboles (figura 14).

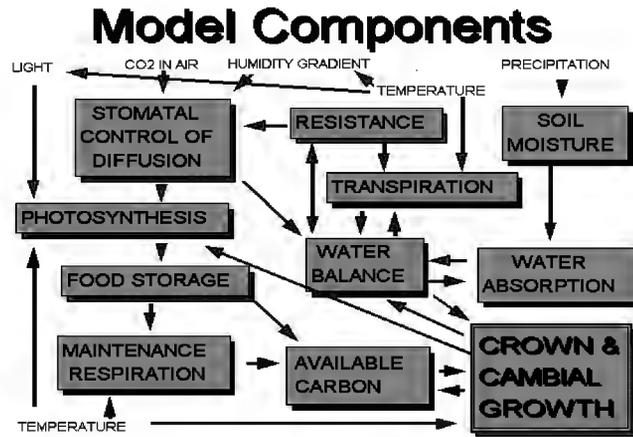


Figura 14 Modelo simplificado, efecto de los factores climáticos en los procesos fisiológicos de los árboles, su relación con la actividad cambial y formación de los anillos de crecimiento (Fritts & Shashkin, 1995)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1 MATERIALES DE CAMPO PARA ANALISIS DENDROCRONOLOGICO

- Sacos
- Bolsas plásticas Ziploc
- Marcadores indelebles punta gruesa
- Libreta de campo
- Lapiz
- Pabilo
- Cinta adhesiva
- Cuchilla
- Aerosol - Spray
- Machetes

3.1.2 MATERIALES DE LABORATORIO PARA ANALISIS DENDROCRONOLOGICO

- Lijas de agua para metal de ANSI P120, 320, 400 y 600
- Cola
- Cinta adhesiva Maskin tape
- Regla
- Lápiz y marcador indeleble de punta fina

3.1.3 EQUIPO DE CAMPO PARA ANALISIS DENDROCRONOLOGICO

- Motosierra Still 070
- Cinta diamétrica e hipsómetro
- Mochila
- Hacha Forestal
- Brújula
- Botiquín
- GPS

3.1.4 EQUIPOS DE LABORATORIO PARA ANALISIS DENDROCRONOLOGICO

- Computadora con Sistema de análisis de Imagen Digital y escáner.
- Microscopio estereoscópico con cámara digital acoplada
- Mesa de Medición Velmex 0.001
- Software PJK
- Software CRAD y CERD (INRA-Francia)
- Software Dendrochronology Program Library (DPL): COFECHA, ARSTAN y RESPO

3.1.5 MATERIALES DE LABORATORIO PARA ANALISIS ANATOMICO

- Lupa de 10x
- Solución de alcohol de 30, 50, 70 y 96°
- Solución de glicerina y alcohol en partes iguales.
- Agua destilada

- Lejía
- Xilol
- Solución de safranina al 1% en alcohol de 96°
- Bálsamo de Canadá
- Abrasivo fino
- Agua destilada
- Acido acético 1%
- Placas Petri
- Vasos graduados de vidrio
- Erlenmeyers
- Pincel pelo de Martha
- Porta y cubre objetos.
- Reglillas micrométricas.

3.1.6 EQUIPOS DE LABORATORIO PARA ANALISIS ANATOMICO

- Micrótopo de desplazamiento horizontal
- Microscopio binocular con acoplamiento de cámara digital
- Afilador de cuchilla.
- Hornilla eléctrica.
- Estufa eléctrica

3.2 SELECCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

Para estudios dendrocronológicos es importante considerar que la zona de muestreo presente árboles cuyo grado de respuesta a los factores climáticos de interés sea el máximo (Fritts, 1976; Roig, 2000; Cordova, 2003). Para reconstruir precipitaciones, las muestras de árboles deben ser tomadas de lugares secos, es decir, lugares donde la disponibilidad de agua sea un factor limitante.

Este muestreo si bien es cierto podría parecer contradictorio a los criterios de aleatoriedad que sugiere la estadística, no es más que una extensión del principio de factores limitantes, el concepto de amplitud ecológica y replicación citados por Fritts (1976) y mencionados anteriormente. Por esto es muy importante no sólo de escoger un lugar interesante por su grado de sensibilidad climática, sino también verificar la capacidad de replica dentro de dicho lugar, de modo que todos los árboles muestreados tengan la misma o similar señal.

Partiendo de ello podemos definir dos criterios básicos a considerarse en la selección:

Límite de distribución climática: Los lugares de muestreo seleccionados corresponden al piedemonte, correspondiente al Bosque Seco semi-denso de Colina y/o transición con Bosque Seco semi-denso de Llanura según Mapa de bosques secos (PROYALGA, 2003). Desde el punto de vista conceptual el piedemonte se define como el límite entre dos ecosistemas o regiones biogeográficas, una típica de la llanura (monte) y la otra propia de la montaña (pre-puna), representando una zona de transición altamente dinámica.

El hábitat pedemontano se caracteriza por pendientes marcadas y suelos pedregosos constituidos por materiales duros (conglomerados y calizas). Su clima difiere del clima costero o desértico por ser más húmedo a causa del efecto orográfico de la cordillera de los Andes. Así, el piedemonte tiene la particularidad de ser una franja donde ocurren las máximas precipitaciones durante un ENOS (Cordova, 2003; Rodríguez *et al.*, 2005).

Influencia climática en la relación anillo – árbol; En el piedemonte las condiciones de clima y suelo son adversas. Las características de su suelo mitigan la retención de líquidos con lo cual las precipitaciones se constituyen como una de las principales fuentes de aprovisionamiento de

agua para el crecimiento de las especies vegetales. Este factor limitante hace que se presente como un ecosistema de especial interés.

Siguiendo el criterio mencionado anteriormente para el presente estudio se tomaron en cuenta dos tipos de Bosque secos caracterizados según Inventario Forestal de Bosques Secos (PROYALGA, 2003).

3.2.1 BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE LLANURA (BSSD LL)

Cuya extensión total en el departamento de Lambayeque es de 128 985 has (9,06% del departamento de Lambayeque), presenta una densidad que varía de 70 a 145 individuos/ha dominando el Algarrobo (*Prosopis pallida*) con el 48% de la población seguido por el sapote (*Capparis scabrida*) con el 29,3%, palo verde (*Cercidium praecox*) con el 12,6%, el hualtaco (*Loxopterigyum huasango*) y palo santo (*Bursera graveolens*) con 3,3% y 2,3% respectivamente.

Este tipo de cobertura existe en 4 zonas bien definidas; la primera corresponde a aquella comprendida entre el reservorio de Tinajones y el Santuario Histórico Bosques de Pomac con espacio relativamente pequeños y fragmentados. La segunda ubicada al nor-este del Santuario (poblados Humedales, Jahuay negro, La Peña, etc.). La tercera circundando la ciudad de Olmos encontrándose grandes espacios de este tipo de bosque os cuales se extienden en forma más o menos continua (Pan de Azúcar, Laucha La Juliana, Tongorrape y Soplapuco. Por último la 4ta zona se encuentra es bastante distinguible en la parte nor-oeste del departamento cercana a la frontera con Piura.

El bosque seco semi-denso de llanura es el tercero en orden de importancia por su extensión, además de tener una alta potencialidad para actividades como agricultura y apicultura.

3.2.2 BOSQUE SECO SEMI-DENSO DE COLINA (BSSDC)

Es la segunda formación más amplia encontrada, ocupa 129 935 has (9,13% del departamento de Lambayeque). Se la ubica al este del departamento al pie de Montaña de los andes occidentales formando una franja maciza con algunas incursiones en la llanura Lambayecana.

La población arbórea está representada por 5 especies y la densidad de individuos por área varía entre 105 a 145 árboles/ha siendo el promedio 128 árboles/ha. Las especies de

predominancia son: Hualtaco (*Loxopterigyum huasango*), Palo santo (*Bursera graveolens*), Sapote (*Capparis scabrida*) y en menor porcentaje Charán (*Caesalpinea pai pai*). El hualtaco fue la especie más abundante entre la regeneración natural, le sigue en orden de abundancia el Palo santo y el Sapote.

3.2.3 ÁREAS DE MUESTREO

Con la finalidad de determinar el grado de sensibilidad, comportamiento y desarrollo de las especies a estudiar se seleccionaron dos lugares: la primera, al norte de la ciudad de Motupe a la margen derecha de la panamericana Norte en la comunidad campesina Tongorrape y la segunda a la margen derecha del río La Leche en la hacienda Mayascong ambas correspondientes al Bosque Seco Semi-denso de Colina o transición Llanura-Colina según el Mapa Forestal de Bosques Secos (Proyecto Algarrobo, 2003) (figura 15). Esta selección se basa en los principios de la dendrocronología como factores limitantes (disponibilidad del agua), amplitud ecológica (límite altitudinal) y replicación (reducir el disturbio) mencionados por Fritts (1976).

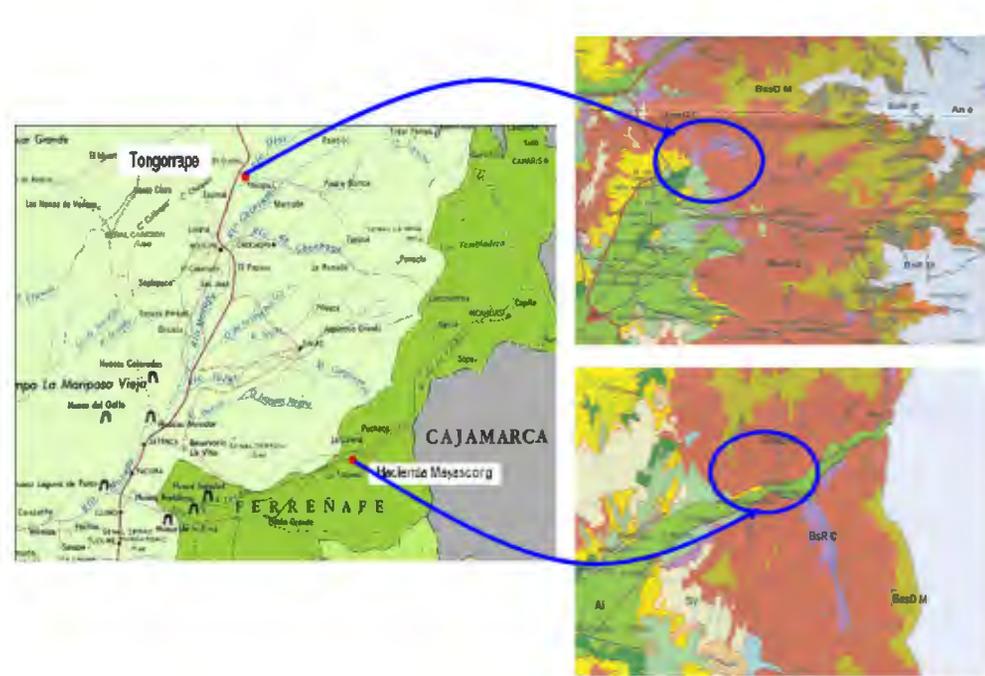


Figura 15 Ubicación de las áreas de muestreo según Mapa Forestal de Bosques Secos (PROYALGA, 2003). Sitio de muestreo Tongorrape (superior), sitio de muestreo Hacienda Mayascong (inferior)

M) COMUNIDAD CAMPESINA TONGORRAPE

Ubicada al extremo norte de la provincia de Lambayeque a la margen derecha del río Olós, en el Departamento de Lambayeque, a unos 3 km al Este del Caserío Olos y aproximadamente 60 Km. de la ciudad de Lambayeque. Se sitúa entre los 5°24'41" y los 6°00'26" de latitud sur con relación a la ecuatorial y entre los 79°28'03" y los 80°37'43" de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

De acuerdo con el mapa de ecorregiones y el sistema de clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge (1982) esta zona se encuentra dentro de la llamada provincia biogeográfica Bosque Seco Ecuatorial, dentro del cual según la fisiografía y composición florística en relación con la densidad arbórea se le considera, en la mayor parte de su extensión, como un Bosque Seco Ralo de Llanura y un Bosque Seco semi Denso de Llanura (figura 16).

Por su ubicación geográfica le correspondería tener un clima tropical, las masas de aire cálido húmedas provenientes del norte amazónico son retenidas por la barrera de la cordillera de los Andes, condicionando los rasgos de aridez y semiaridez de la región interandina y andina occidental. La temperatura mínima más baja alcanza valores de 14,9°C en el mes de Julio. La temperatura máxima es de 34,3°C en los meses de Febrero y Marzo. Los mayores valores de precipitación se registran en el mes de Marzo, alcanzando valores de 73mm, aunque estos valores se han visto afectados en los últimos años ya que la precipitación ha sido escasa. En el invierno, la lluvia es prácticamente insignificante, sumando al final del año un acumulado de 141,5 mm. (SENAMHI, 2000; INRENA y PROYALGA, 2003)

El suelo de esta zona es casi llano, presentando elevaciones de poca altitud. Destacan algunos cerros provenientes de las estribaciones andinas occidentales y otros ubicados con dirección hacia el mar. Se aprecian igualmente lomas, abras, quebradas y pampas en casi toda la razón del norte del distrito. Los suelos predominantes en el área de estudio pertenecen al grupo de los yermosoles, que se caracterizan por ser delgados y muy poco desarrollados. Le siguen en abundancia los suelos de tipo solochaks órticos de elevada salinidad. Asimismo se presentan los regosoles eútricos de textura arenosa. (ASPROBOS-2003; INRENA y Proyecto Algarrobo, 2003)

Alberga grandes extensiones de las especies forestales más representativas de los Bosques Secos del Norte como son el algarrobo (*Prosopis pallida*), sapote (*Capparis scabrida*), faique (*Acacia macracantha*), palo santo (*Bursera graveolens*), overo (*Cordia lutea*), hualtaco (*Loxopterigyum huasango*), palo verde (*Parkinsonia aculeata*), entre otros; así como una gran variedad de especies de fauna como la pava aliblanca (*Penélope albipennis*), zorro (*Pseudalopex sechurae*), lagartija (*Tropidurus occipitalis*), ardilla (*Sciurus stramineus*), huerequeque (*Burhinus superciliaris*), picaflor o run run (*Amazilia amazilia*), entre otros. (Municipalidad Distrital de Olmos, 2006)



Figura 16 Vista panorámica de la parte alta del área de estudio, Comunidad Campesina Tongorrape a) Bosque Seco Semi-denso de Colina b) transición del Bosque Seco Semi-denso de Llanura-Colina

N) HACIENDA MAYASCONG

Ubicado al margen izquierdo del río La Leche, en el distrito de Pítipo (Valle de La Leche, región de Lambayeque) a 11,5 Km. de la localidad de Ferreñafe y a 31,5 Km. de la ciudad de Chiclayo. Se ubica entre los 6°22'22" y los 6°33'35" de latitud con relación al ecuatorial y los 79°38'35" y los 79°51'49" de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

De acuerdo con el mapa de ecorregiones de Brack (1998) y el sistema de clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge (1982) esta zona se encuentra dentro de la llamada provincia biogeográfica Bosque Seco Ecuatorial, dentro del cual, según la fisiografía y composición florística, en relación con la densidad arbórea, se le considera como un Bosque Seco Semi-Denso de Colina. (INRENA y Proyecto Algarrobo, 2003).

Este Bosque Seco Ecuatorial, en la mayor parte del año es seco, cálido y soleado durante el día y por el atardecer es fresco y con vientos regulares. Presenta lluvias esporádicas durante los meses de Diciembre – Abril, con mayor incidencia en los años en que ocurre el evento El Niño. Posee una biotemperatura media anual de 22,9°C. El promedio de evapotranspiración total por año varía entre 32 y 64 veces el valor de la precipitación, la cual en los últimos años ha sido bastante escasa, con un promedio máximo total por año de 21,6 mm y uno mínimo de 2,2 mm (ASPROBOS-2003; INRENA y Proyecto Algarrobo, 2003) (figura 17).

Según la guía explicativa del Mapa Ecológico del Perú (1995), esta zona de estudio se encuentra ubicada en un terreno donde predominan suelos delgados de naturaleza litosólica esencialmente y regosoles de naturaleza arenosa son bastante frecuentes en las zonas más altas.

Posee una diversidad biológica alta, especialmente de las aves (26 especies de aves y 7 de mamíferos), aún cuando el bosque está degradado. Posee varias comunidades vegetales como los bosques densos y semidensos, matorrales y algarrobales. El algarrobal es la comunidad boscosa que domina el norte del país. (Ministerio de Agricultura – Portal Agrario)

El algarrobal está asociado principalmente con el sapote (*Capparis scabrida*) y en menor proporción con el faique (*Acacia macracantha*), el bichayo (*Capparis ovalifolia*) y algunos arbustos. Este bosque tiene un alto valor económico, en productos no maderables como la recolección de algarroba, miel y ecoturismo. (Ministerio de Agricultura – Portal Agrario).



Figura 17 Vista panorámica de la parte alta del área de estudio, Hacienda Mayascong a) Bosque Seco Semi-denso de Colina b) transición del Bosque Seco Semi-denso de Llanura-Colina, margen del río La Leche.

3.3 SELECCIÓN DE LA ESPECIE

Se seleccionó las especies *Bursera graveolens* (Palo santo), *Loxopterigyum huasango* (Hualtaco) y *Capparis scabrida* (Sapote) debido a su potencialidad para estudios dendrocronológicos (Rodríguez *et al.*, 2005); formación de anillos distintivos, importancia económica, ecológica y sociológica (cultural), realización de estudios preliminares (seguimiento mediante mediciones continuas de diámetro), densidad poblacional y su amplitud ecológica (figura 18).

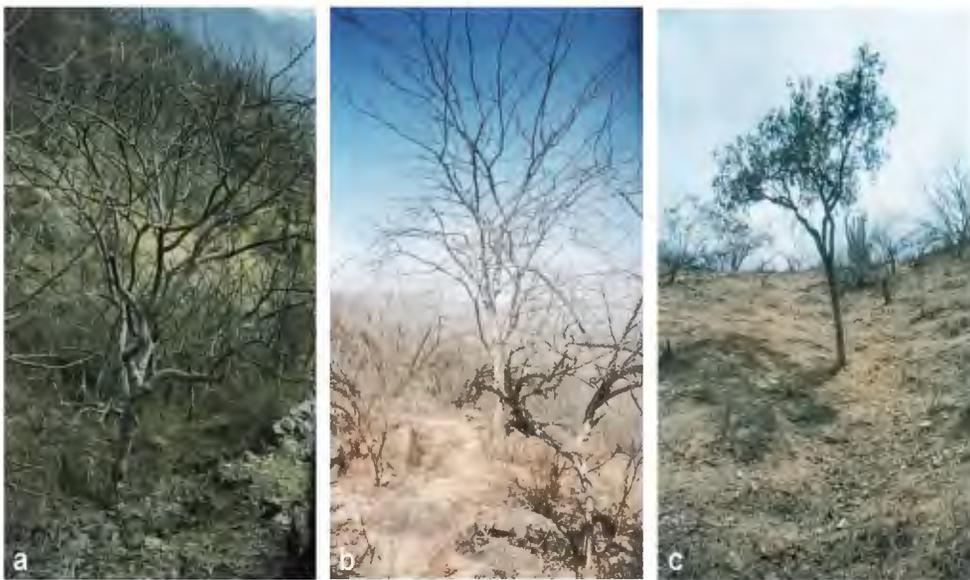


Figura 18 Especies seleccionadas para estudio dendrocronológico. a) *Bursera graveolens* (Palo Santo). b) *Loxopterigyum huasango* (Hualtaco) y c) *Capparis scabrida* (Sapote).

3.4 TÉCNICA DE MUESTREO

Consiste en obtener muestras de zonas poco densas (población), con el fin de minimizar el efecto de competencia en las series dendrocronológicas; a la vez que se logra el efecto de réplica deseado. Se debe tomar en cuenta árboles con igual rango de edad, ya que nos permite obtener cronologías más homogéneas, dado que se reduce la presencia de disturbios. Para esto, se realiza una evaluación preliminar en el individuo basándose en el tamaño de su diámetro. Así mismo, el muestreo de árboles con diferentes edades (diámetros) permitiría traslapar cronologías.

El muestreo se realizó bajo la técnica destructiva que consiste en derribar los árboles y obtener discos o rodajas a la altura del DAP en algunos casos (sapote) y muestras por debajo del DAP en otros preferentemente antes de la bifurcación (figura 19a).

3.4.1 RECOLECCIÓN DE LOS CUERPOS DE PRUEBA

Se cortó una rodaja por árbol de 5cm de espesor a 5 individuos por especie (en cada sitio) a la altura del DAP, evitándose muestrear en zonas dañadas o de compresión-tensión, cambios abruptos, etc. procurando que sea en direcciones opuestas Norte-Sur y Este-Oeste.

El tumbado de árbol se realizó con motosierra Still modelo 070 o hacha obteniendo rodajas para el fácil manipuleo y posterior análisis puesto que la densidad de la madera es media-alta resultando dificultoso muestrear con barreno Pressler mediante la técnica no destructiva (figura 19b, c).



Figura 19 Secuencia de muestreo destructivo en árboles de la especie *Capparis scabrida*, muestras tomadas al DAP a) árbol derrumbado, b) selección al DAP, c) Discos de las especies muestreadas

3.4.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Una vez cortadas las secciones transversales (muestras), se identifican y transfirieren a un horno de secado para su acondicionamiento a humedad de equilibrio (14%). El secado tiene

que ser moderado a lento o por secado natural para evitar que las secciones transversales se quiebren.

Ya secas las muestras, se procedió al lijado, con ayuda de una lijadora eléctrica. Se recomiendan herramientas de lijado rotatorias u orbitales en un rango de aspereza (granulaciones) variando de ANSI P100 a ANSI P600. Las secciones lijadas mecánicamente necesariamente requieren de un acabado manual que permita resaltar los anillos de crecimiento (figura 20).



Figura 20 Lijado y pulido de discos a) Limpieza de la superficie transversal del disco para lijado, (b) Lijado con graduación de aspereza variando de 100-600 (c) producto final, se aprecia el resalte de anillos de crecimiento producto del acabado manual

3.4.3 MEDICIÓN DEL ANCHO DE LOS ANILLOS

Una vez resaltados los anillos de crecimiento mediante el lijado anterior se procedió a marcar radios en forma opuesta Norte-Sur o Este-Oeste (lo más separadamente posible 90 grados de preferencia para abarcar toda la sección transversal) con la finalidad de establecer los radios en los cuales se va a identificar, demarcar (con lápiz) medir y contar los anillos. La medición del ancho de anillos se realizó mediante la utilización de la mesa de medición Velmex (0,001 mm de precisión), aplicándose el programa PJK (HOLMES, 1994) Este programa genera un archivo de datos con extensión RAW (figura 21).

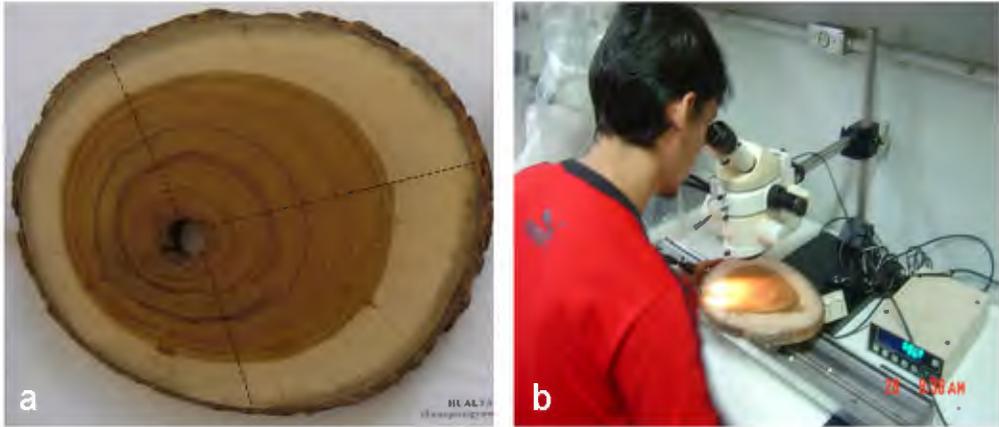


Figura 21 Análisis de la sección transversal de los discos, a) marcado de radios en la sección transversal, delimitación y conteo de anillos de crecimiento, b) medición de anillos marcados en la mesa de medición Velmex (0.001mm).

3.5 CARACTERIZACION ANATOMICA DE LA ESTRUCTURA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO

3.5.1 CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO

La sección transversal de los discos de madera de las especies seleccionadas fueron pulidas con lijas de diferentes grosor (180, 360, 400 y 600 granos.pulgada²) evidenciando así el contraste de los elementos anatómicos. Los anillos de crecimiento fueron analizados y fotografiados con auxilio de un microscopio estereoscopio (40x) acoplado a una cámara fotográfica digital. Para la caracterización de los anillos de crecimiento fueron utilizadas las normas de la IAWA commitee (1989), para estudios de anatomía de la madera en Angiospermas.

3.5.2 CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO

Fueron cortadas pequeñas sub-muestras (bloques de 2 x 2 x 3 cm) de los discos de las 3 especies. Estos bloques fueron sumergidos en agua caliente para saturación y ablandamiento. Se fijó el bloque en el micrótopo de deslizamiento horizontal y se cortaron las secciones transversales (15-20 μm de espesura). Estos cortes histológicos fueron clarificados (lejía 1:1), lavados (agua destilada, ácido acético 1%), deshidratados (serie alcohólica, 30-100%), lavados, teñidos (safranina) fijados (xilol) y montados (sobre porta objeto, con bálsamo de Canadá) en laminas histológicas de vidrio (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951).

Las láminas histológicas con los cortes anatómicos transversales del leño de las especies seleccionadas fueron observadas en microscopio de luz acoplado a una cámara digital y su estructura anatómica fue descrita de acuerdo con las normas de IAWA (1989) aplicadas para estudios de anatomía de la madera en Angiospermas (Figura 22).

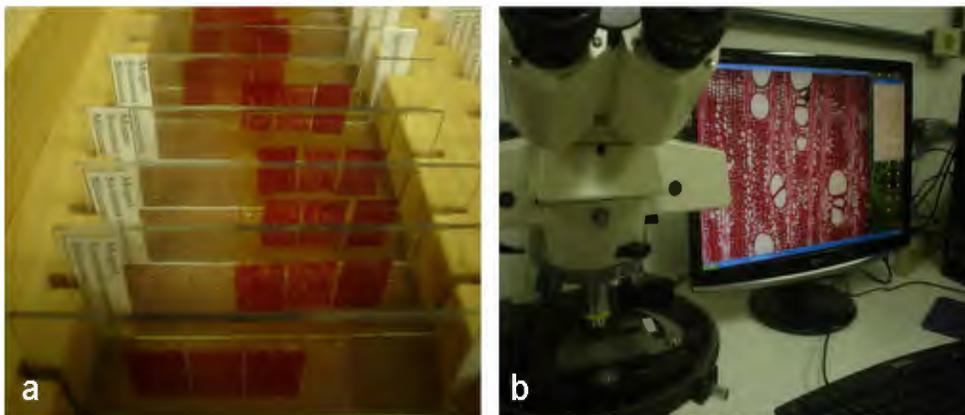


Figura 22 Análisis anatómico de la estructura de los anillos de crecimiento, a) elaboración de láminas histológicas de la sección transversal, b) análisis de imágenes digitales de los cortes histológicos.

3.6 ANALISIS DENDROCRONOLOGICO DE LAS ESPECIE

3.6.1 SINCRONIZACIÓN O CO-FECHADO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO

Los valores de los anchos de anillos de crecimiento de cada árbol muestreado fueron considerados como una serie cronológica procediéndose, de esta forma, a la sincronización de 5 series por especie de *Bursera graveolens* y *Loxopterigyum huasango* correspondiente al área de muestreo Tongorrape y 4 series por especie de las mismas en el área de muestreo Mayascong. El control de calidad y la verificación de la sincronización (co-fechado) fue realizada por medio del programa COFECHA (HOLMES; ADAMS; FRITTS 1986), que analiza estadísticamente la correlación entre las porciones de la serie fluctuante (a fechar) y las series individuales o master independientemente fechadas y verificadas, pudiéndose identificar la existencia de anillos de crecimiento falsos para su posterior control.

3.6.2 ELABORACIÓN DE LA SERIE MASTER DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

Para la elaboración de la serie máster es importante describir los conceptos “señal” y “ruido”. Se denomina “señal”, a la información relevante contenida en los anillos de crecimiento para

un estudio en particular de una variable. El término “ruido” es una parte de la información presente en la serie de anillos y que es irrelevante para el estudio de la variable considerada. De esta manera, la serie de anillos de crecimiento del leño de los árboles es un conjunto (agregado) de varias “señales”, pudiéndose presentar como “ruido”, según la aplicación del estudio dendrocronológico. El análisis de un disturbio particular por aplicación de anillos de crecimiento consiste en realizar una buena decodificación de las “señales” contenidas en los anillos de crecimiento, resaltando el de interés (a ser estudiado) y minimizando los restantes.

En el presente estudio, el disturbio particular o “señal” es el crecimiento del anillo en función del clima (precipitación y temperatura), considerándose como “ruido” todos los factores, diferentes del clima, que hayan afectado al ancho de los anillos de crecimiento (o al crecimiento del tronco de los árboles).

Como metodología, fueron aplicados los conceptos de Cook y Kairiukstis (1989), los cuales consideran a las series de anillos como un agregado lineal compuesto por “señales” presentes, expresadas de la siguiente forma:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t \quad (1)$$

Donde: R_t – serie de ancho de anillos observada; A_t – tendencia de los anchos de anillos relacionada con el tamaño y la edad de los árboles; C_t – señal climáticamente relacionada con el ambiente; δ – indicador binario relacionado con la presencia ($\delta=1$) o ausencia ($\delta=0$); $D1_t$ – disturbios causados por perturbaciones endógenas y de acción localizada; $D2_t$ – disturbios causados por perturbaciones exógenas que actúan a nivel poblacional; E_t – variabilidad (año a año) no relacionada con los demás factores; t – año relacionado con cada factor.

Para facilitar la aplicación del modelo se busco maximizar el efecto de la “variable climática” en la formación del anillo de crecimiento mediante la selección de sitio de muestreo, en áreas donde las especies en estudio presenten un comportamiento sensible a las variaciones climáticas estacionales (precipitación y temperatura) y en zonas de laderas (FRITTS, 1976; GROGAN, 2000; GULLISON et al., 1996; LAMB, 1966; WHITMORE, 1983; SCHWEINGRUBER, 1988). En seguida, cada serie cronológica fue estandarizada, retirándose las tendencias de crecimiento de los anchos de anillos, asumiendo que estas son funciones de

las dimensiones y de la edad de los árboles y de las perturbaciones endógenas y exógenas, conforme el modelo siguiente:

$$Q_t = f(A_t, \delta DI_t, \delta D2_t) \quad (2)$$

Donde: Q_t – tendencia de crecimiento estimada como una función apenas de la edad; f – función matemática; A_t – tendencia del ancho de anillo relacionada con el tamaño y la edad de los árboles; δ – indicador binario relacionado con la presencia ($\delta=1$) o ausencia ($\delta=0$); DI_t – disturbios causados por perturbaciones endógenas y de acción localizada; $D2_t$ – disturbios causados por perturbaciones exógenas que actúan a nivel poblacional; t – año relacionado con cada factor.

La tendencia de crecimiento fue removida utilizando el programa ARSTAN (HOLMES; ADAMS; FRITTS, 1986), el cual ajusta una función de regresión a los anchos de anillos de crecimiento. La remoción de las tendencias fue realizada conforme la metodología indicada por Fritts (1976), cuyos datos son transformados en índice de ancho de anillos (I_t).

$$I_t = \frac{R_t}{Q_t} \quad (3)$$

Donde: I_t – índice de ancho de anillos de crecimiento; R_t – serie de ancho de anillos observada; Q_t – tendencia de crecimiento estimada como una función apenas de la edad.

La estandarización (standardization) realizada mediante el programa ARSTAN tiene dos objetivos: (i) remover las tendencias no climáticas relacionadas con la edad de los árboles y (ii) permitir que los valores estandarizados de los árboles individuales, con diferentes tasas anuales de crecimiento del tronco, sean calculados juntos en una función promedio. El proceso de estandarización posee, aun, la ventaja de corregir la heterogeneidad de la variancia de los anchos de anillos, una vez que la desviación estándar de los índices deja de ser función de la media, como ocurría antes de la estandarización.

Con los datos estandarizados (índices) se procedió a calcular las cronologías medias de los anillos de crecimiento, denominadas “standard”, generadas a partir de la utilización del programa ARSTAN para cada población de árboles a través de la media robusta entre las series. Las cronologías medias obtenidas con el programa ARSTAN fueron comparadas con las series climáticas determinando la variable que más influyó (precipitación o temperatura) en el ancho de anillos y consecuentemente en el crecimiento de los árboles (HOLMES, 1994).

3.7 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Se recopiló información sobre la precipitación pluviométrica total mensual (mm) y total anual (mm) de la Estación Meteorológica de la Universidad Pedro Ruiz Gallo en la ciudad de Lambayeque. Con la información meteorológica se elaboró una serie climática correspondiente al periodo 1972-2005 para el área de estudio (últimos 30 años), permitiendo así, su posterior comparación con las series cronológicas de anillos de crecimiento. Informaciones sobre la temperatura media mensual (°C) y anual (°C) no fueron consideradas en esta investigación pues la estación meteorológica no contaba con la suficiente cantidad de información mensual requerida para el estudio (figura 23).

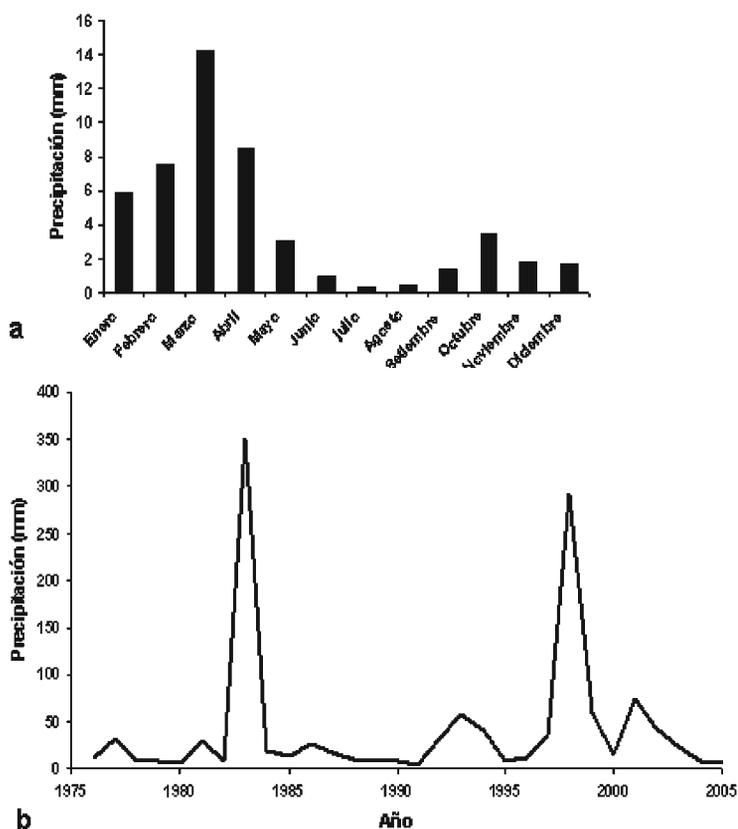


Figura 23 Registro meteorológico de la Estación meteorológica de la Universidad Pedro Ruiz Gallo (Lambayeque). a) precipitación media mensual para el periodo 1976 -2005. b) Precipitación total anual de Lambayeque para el periodo 1976 – 2005

3.8 ANALISIS DENDROCLIMATOLOGICO

Obtenidas las series cronológicas y meteorológicas se procedió a establecer un coeficiente de Correlación Pearson (95% de confiabilidad) entre los periodos en común de ambas series con la finalidad de determinar si la variable climática afecta la formación del anillo de crecimiento definiendo así la ciclicidad del crecimiento de las especies en estudio

3.9 ANALISIS DENDROECOLOGICO

Definida la anualidad y/o ciclicidad del crecimiento de las especies en estudio se procedió a determinar las tasas de crecimiento máximas, mínimas y medias, así como la definición de la tendencia de crecimiento de las especies por área de muestreo.

La tasa máxima y mínima corresponden a los valores máximos y mínimos en diámetro por año de los anillos de crecimiento en cada árbol/especie.

Para la obtención de la tasa media anual de crecimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$Tc= Da/e \quad (4)$$

Donde:

Tc: Tasa media anual

Da: diámetro acumulado por anillo de crecimiento por año de crecimiento

e: edad cronológica definida por dendrocronología

Las tendencias de las curvas de crecimiento fueron obtenidas por el paquete estadístico SAS.

3.10 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE DENSITOMETRÍA POR RAYOS X EN ESTUDIOS DE DENDROCRONOLOGIA

En esta parte de la metodología se plantea la aplicación de dos técnicas de evaluación porque se considera que ambas son importantes en el análisis y diferenciación de anillos verdaderos y falsos. Por un lado la medición de ancho de anillos ha sido exitosamente utilizada: sin embargo,

la diferenciación de anillos y anomalías se basa en criterios de identificación y medición ocular. En el caso de latifoliadas, leño verano y primavera que muchas veces puede traer errores por parte del investigador. Por otro lado la densitometría es una técnica que va mas allá, ya que, cuantifica la variación densitométrica dentro de la pieza evaluada identificando límites con mayor precisión que los anillos (Polge, 1978; Tomazello F^o *et al.*, 2008; Rosero Alvarado, 2010).

3.10.1 DENSITOMETRÍA POR RAYOS X

O) OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Se marcan dos radios en direcciones opuestas (figura 24), luego ya marcada la sección transversal se procede a cortar estos radios para luego pegarlos en soportes de madera y obtener de ahí muestras pequeñas de 2mm de espesor.



Figura 24 Obtención de muestras para densitometría de Rayos X. a) marcado de radios en la sección transversal de los discos, (b) corte de radios marcados (2 por muestra) medula-corteza, c) radios cortados en sección transversal colados sobre soportes para su posterior corte con sierra doble y d) muestras de radios cortados a un espesor de 2 mm listos a ser irradiados

P) ELIMINACIÓN DE EXTRACTIVOS PROPIOS DE LA MADERA

El porcentaje de extractivos que la madera posee afecta en la determinación de la densidad aparente por densitometría de Rayos X (Amaral, 1994). Para que la curva densitométrica tenga mayor confiabilidad surge la necesidad de retiro o extracción de sustancias como resina, gomas, mucílagos, etc. Las gomas presentes en la madera afectan su densidad variando la atenuación de Rayos X absorbiendo relativamente poco en comparación a la celulosa. Ante esto, se aplicó la metodología propuesta por Amaral & Tomazello (1998) donde las muestras son sumergidas en solución de Alcohol Tolueno (1:2) volumen durante 8 horas, luego a una solución de alcohol durante 8 horas y finalmente a agua destilada caliente hasta la obtención de agua limpia durante aproximadamente 48 horas (figura 25). Al terminar este proceso se pudo observar una mejora en la identificación de los límites de anillos. Posteriormente las muestras están ya preparadas para su exposición a los Rayos X.

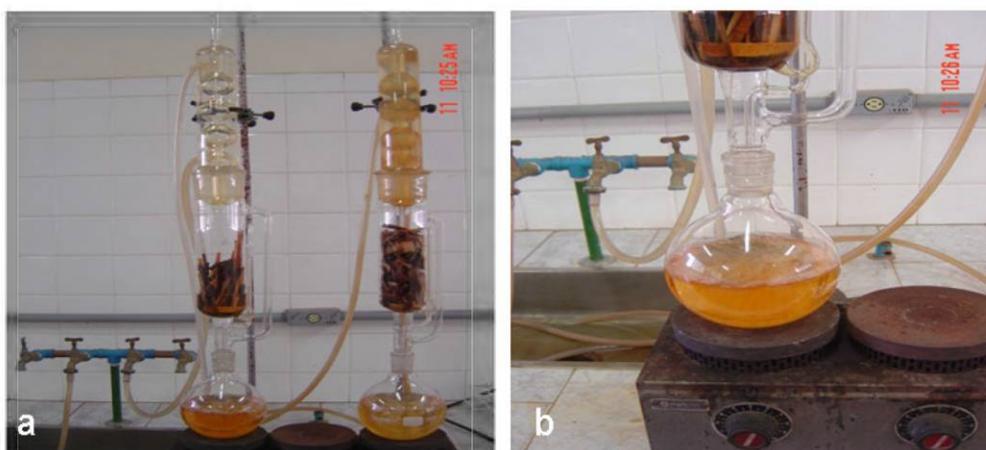


Figura 25 Proceso de extracción de gomas (extractivos de la madera) (a) muestras con alcohol tolueno en el equipo Soxlet, (b) extractivos retirados de las muestras.

Q) ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Una vez cortadas las muestras, se identificarán y transferirán a una cámara para su acondicionamiento a un 12%. Las condiciones necesarias para lograr esta condición son 18°C en temperatura y 50% de humedad relativa por un periodo de 12 horas.

R) IRRADIACIÓN CON RAYOS X

Una vez transcurrido el periodo de preparación las muestras se colocaron en el equipo de Rayos X, marca Hewlett Packard, modelo Faxitron 43805N por un periodo de 5 minutos con las condiciones de 16 kV en tensión de aceleración, 3 mA de corriente de calentamiento y una distancia entre la fuente de Rayos X y las muestras de madera de 121,92 cm. Las placas de Rayos X utilizadas serán tipo Kodak de dimensiones de 24x18cm, tipo T-mat G/RA. La cuña de calibración compuesta de acetato de celulosa con una densidad de 1,48 g/cm³. El procedimiento para la irradiación de las muestras de madera por Rayos X es detallado ampliamente por Amaral & Tomazello (1998).

Las muestras de madera de 2 mm de espesor previamente acondicionadas son puestas sobre la capa de celulosa a ambos lados de la escala N (gris). Estas deben estar paralelas a ella con la finalidad de una comparación posterior al revelado de las placas y determinación de la densitometría. Luego es cubierta por otra capa de celulosa encima asegurando las muestras. Debajo de estas en una base de madera se coloca la placa radiográfica y encima de ella las capas de celulosa (figura 26a). Luego se llevan a la cámara de irradiación asegurándose que las muestras estén perpendicularmente a la fuente de irradiación o sea al centro de la cámara de irradiación. Se calibra el reloj de la cámara de Rayos X para 5 minutos de irradiación (figura 25b).

Cabe resaltar que el procedimiento para irradiar las muestras de madera tiene que ser en absoluta oscuridad ya que las placas Tipo Kodak de 24x18cm no deben ser expuestas a la luz por peligro a su velado. Es por esto que antes de realizar la irradiación se debe practicar con luz y después sin luz a fin de conocer la posición de cada instrumento a utilizar.

Pasado los 5 minutos, y sin encender las luces se debe retirar la placa y las muestras irradiadas de la cámara y ponerlas en una caja especial para placas radiográficas cerrándolas bien para que no entre luz que podría velar las placas y perder con esto el trabajo. Luego llevar las placas a un hospital o clínica para su revelado (figura 26c).

S) ANÁLISIS DE LOS FILMES DE RAYOS X

Las placas radiográficas con las muestras irradiadas serán digitalizadas en un scanner de marca Hewlett Packard, modelo ScanJet 6100C/T a una resolución de 1000 dpi (puntos por pulgadas,

siglas en inglés) a escala de grises de 256 grados. El proceso de análisis de las placas de Rayos x, consiste en que las muestras de madera son comparadas con una escala de patrón conocida, el cual cuenta con 12 rangos de grises y una densidad de conocida de 120, 240, 360, 480, 600, 720, 840, 960, 1080, 1200, 1320, 1440 g /cm³. Para este proceso específico se utilizó los programas CRAD y CERD (Mothe *et al.*, 1998) definiendo los límites de los anillos de crecimiento y la variación de la densidad dentro de cada capa de crecimiento.

T) PROGRAMAS ESPECÍFICOS PARA ESTUDIOS DE DENSIDAD INTERNA DEL ÁRBOL.

c) Programa CRAD:

Diseñado en Francia por el Instituto Nacional de la Investigación Agronómica (INRA), este programa reconoce la imagen de las placas digitalizadas (escaneadas) - con buena resolución (de preferencia 1000 dpi) y salvadas con la extensión “.BMP” - y las calibra a la escala gris que se encuentra al centro de la imagen. Una vez calibrada se analiza cada muestra paralela a ella. La imagen luego es convertida en un archivo tipo “.DEN” para ser reconocido por el programa CERD. (figura 25c)

d) Programa CERD:

Este programa diseñado también por el INRA en Francia, tiene la característica de reconocer el archivo tipo “.DEN” (Mothe *et al.*, 1998) mostrando la imagen digitalizada de las muestras con espesor de 2mm. Aquí se definen los límites de los anillos de crecimiento y se le ordena al programa tome lecturas de 50 a 200 datos diferentes de densidad dentro de cada segmento limitado o límite de anillos obteniendo una gráfica de la variación de la densidad dentro de la capa de crecimiento (figura 26c). Posteriormente los datos son exportados a Excel para la elaboración de la gráfica densitométrica (figura 26d).

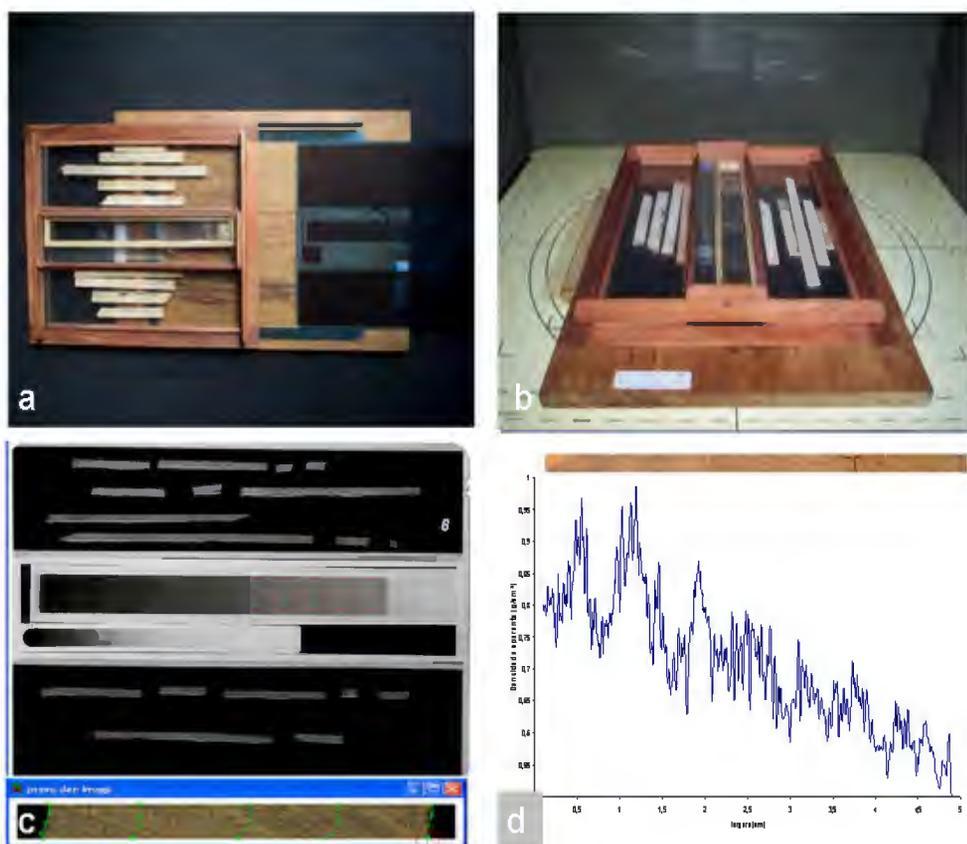


Figura 26 Densitometría de Rayos X, a) colocando el filme de Rayos X debajo de las muestras, b) colocación de las muestras a irradiar con la respectiva escala N dentro de la cámara de Rayos X, c) placas de Rayos X digitalizadas y analizadas con el programa CRAD y CERD, d) perfil radial de la densidad aparente y respectiva muestra de leño.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN ANATOMICA DE LA ESTRUCTURA DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO

4.1.1 *Bursera graveolens* (KUNTH) TRIANA & PLANCH.

La estructura de los anillos de crecimiento de los árboles de la especie *Bursera graveolens*, vistas y analizadas en la sección transversal, se caracterizan por presentar un leño inicial (zona más clara) y un leño tardío (zona más oscura) bien diferenciados o distintos, permitiendo una fácil identificación tanto macroscópica como microscópica. Presenta porosidad semicircular donde los vasos se encuentran con mayores diámetros en el leño inicial (inicio del crecimiento) disminuyendo su tamaño gradualmente hacia el leño tardío (fin del crecimiento). El límite del anillo es caracterizado por la concentración de fibras de paredes gruesas (fin del anillo anterior) seguido de la concentración de vasos de grandes diámetros (inicio del anillo siguiente) (figura 27 y 28).

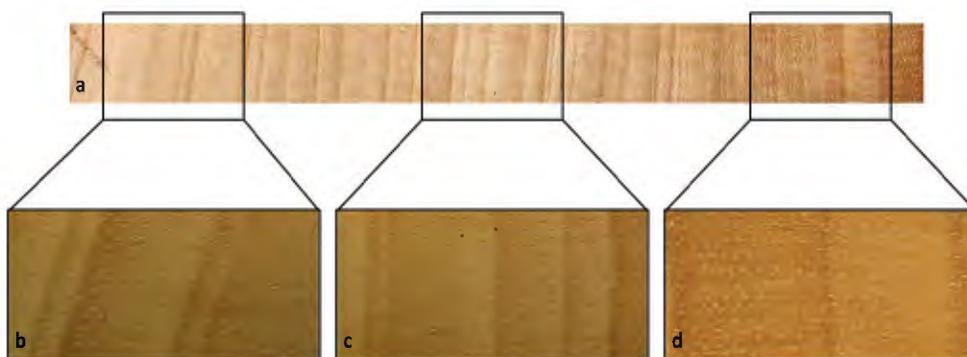


Figura 27 Imagen macroscópica de los anillos de crecimiento en el leño de la especie *Bursera graveolens*. a) Serie de anillos medula-corteza. b), c), d) variabilidad de anillos de crecimiento anchos y estrechos

La estructura anatómica del anillo de crecimiento de la especie *Bursera graveolens* fue descrita por Acevedo & Kikata (1995) quienes la caracterizaron con porosidad semicircular e identificaron anillos de crecimiento delimitadas por tejido fibroso.

Las muestras del leño de esta especie presentan gran variabilidad en el ancho de los anillos de crecimiento siendo este más ancho próximo a la medula y más estrecho y variable próximo a la corteza (figura 28a). Esta diferencia en el incremento radial de los árboles demuestra la sensibilidad de esta especie a las condiciones externas de crecimiento (climáticas y de sitio) presentando un tamaño uniforme (con pequeño o ningún registro de variaciones climáticas) o variable (registrando las variaciones climáticas). Esta característica genera un gran potencial en la aplicación de anillos de crecimiento como identificadores anuales de eventos climáticos debido a su sensibilidad a factores externos (COOK, 1989; FRITTS, 1976; KEANNEL; SCHWIENGRUBER, 1994; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

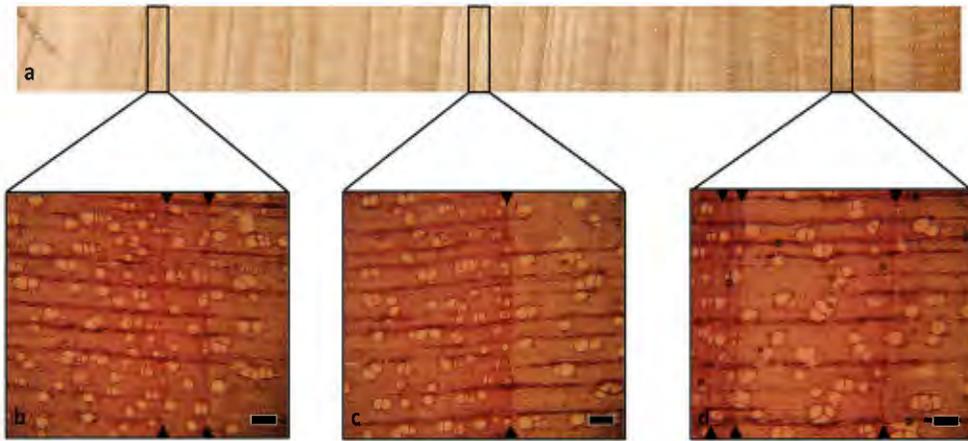


Figura 28 Imagen microscópica de los anillos de crecimiento en el leño de la especie *Bursera graveolens*. a) Serie de anillos medula-corteza. b), c), d) variabilidad de anillos de crecimiento anchos y estrechos (40x). Barra= 100 μ

4.1.2 *Loxopterygium huasango* SPRUCE EX ENGL.

La estructura de los anillos de crecimiento de los árboles de la especie *Loxopterygium huasango*, vistas y analizadas en sección transversal, se caracterizan por presentar un leño inicial (zona más clara) y un leño tardío (zona más oscura) ligeramente diferenciados o distintos, producto de esto, se tiene cierta dificultad en la identificación macroscópica (figura 29a), siendo fácilmente identificadas en la microscópica (figura 30b). Presenta porosidad difusa donde los vasos se encuentran distribuidos aleatoriamente y no tienden a variar su diámetro a lo largo del anillo de crecimiento. El límite del anillo es caracterizado por la concentración de fibras de paredes gruesas (fin del anillo anterior) seguido de vasos con distribución al azar (inicio del anillo siguiente) (figura 29 y 30).

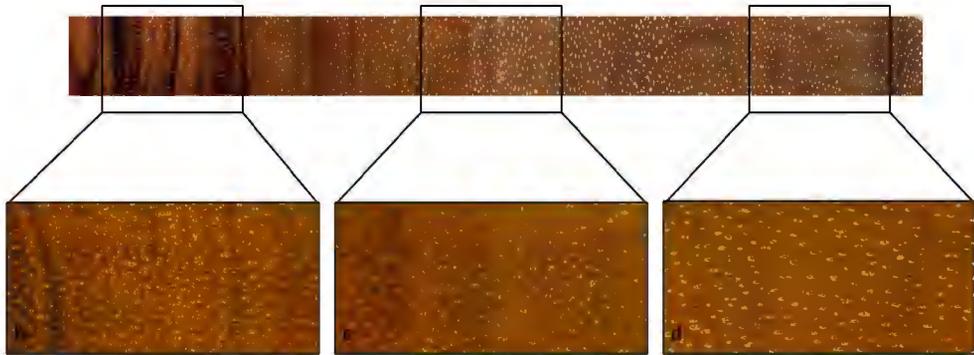


Figura 29 Imagen macroscópica de los anillos de crecimiento en el leño de la especie *Loxopterygium huasango*. a) Serie de anillos medula-corteza. b), c), d) variabilidad de anillos de crecimiento anchos y estrechos

La estructura anatómica del anillo de crecimiento de la especie *Loxopterygium huasango* fue descrita por ACEVEDO & KIKATA (2005) quienes la caracterizaron con porosidad difusa e identificaron anillos de crecimiento delimitadas por tejido fibroso.

La variabilidad en el ancho del anillo de crecimiento también se presenta en esta especie demostrando también la sensibilidad de los árboles de esta especie a las condiciones externas de crecimiento (figura 29 y 30) (COOK, 1989; FRITTS, 1976; KEANNEL; SCHWIENGRUBER, 1994; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).



Figura 30 Imagen microscópica de los anillos de crecimiento en el leño de la especie *Loxopterygium huansango*. a) Serie de anillos medula-corteza. b), c), d) variabilidad de anillos de crecimiento anchos y estrechos (40x). Barra= 100 μ

4.1.3 *Capparis scabrida* KUNTH

La estructura de los anillos de crecimiento de los árboles de la especie *Capparis scabrida*, vistas y analizadas en la sección transversal, se caracterizan por presentar un leño inicial - tardío difícilmente diferenciados o distintos (figura 31). Presenta porosidad difusa no visible a simple vista (difícilmente con lupa-10x), los vasos se encuentran distribuidos aleatoriamente y no tienden a modificar su diámetro. No se diferencia el límite del anillo pues no se observan elementos que lo definan (fibras de paredes más gruesas y parénquima principalmente), además la presencia de abundante parénquima en bandas delgadas no permite una correcta identificación confundiendo al observador (figura 32). Dunish *et al.* (2002) verificaron que además de la formación de anillos de crecimiento delimitados por parénquima marginal también hay otras características anatómicas que distinguen anillos como la secuencia de vasos y canales de resina formando fajas en el sentido tangencial, en la sección transversal del leño.

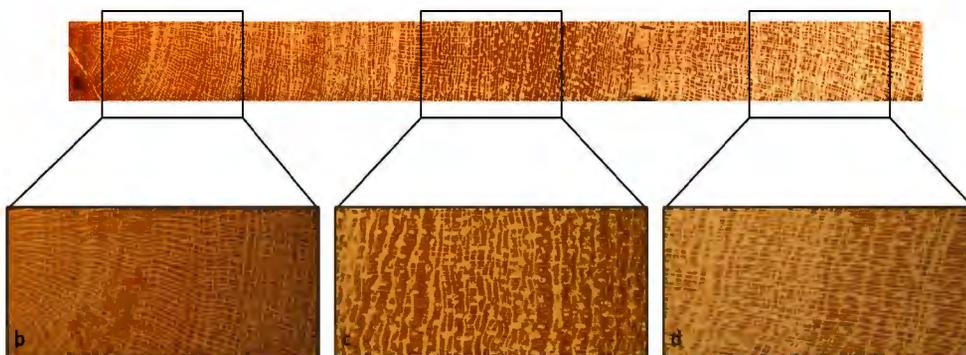


Figura 31 Imagen macroscópica de la estructura anatómica del leño de la especie *Capparis scabrida*. a) Estructura anatómica con presencia de abundante parénquima en bandas delgadas medula-corteza. b), c), d) difícil identificación del límite de los anillos de crecimiento.

La estructura anatómica de la especie *Capparis scabrida* fue descrita por Acevedo & Kikata (1995) quienes también observaron dificultades en la caracterización y diferenciación del anillo de crecimiento.

Especies que presentan esta dificultad no son consideradas como “potenciales” para estudios dendrocronológicos debido a la gran dificultad en la identificación del límite exacto del anillo de crecimiento (Tomazelo F^o *et al.*, 2000). La identificación y correcto marcado del anillo es

uno de los principios que la dendrocronología tiene, pues si esta no se realiza correctamente, los resultados obtenidos en el análisis traerán datos erróneos comprometiendo la integridad de la cronología final (correlaciones negativas y no significativas) (Roig, 2000).



Figura 32 Imagen microscópica de la estructura anatómica del leño de la especie *Capparis scabrada*. a) Estructura anatómica con presencia de abundante parénquima en bandas delgadas medula-corteza. b), c), d) difícil identificación microscópica del límite de los anillos de crecimiento (40x). Barra=100 μ

Se verifica también la presencia de anillos de crecimiento falsos en forma aleatoria, confundidos con anillos verdaderos en el leño de los árboles en las tres especies. En *Bursera graveolens* se caracteriza al anillo de crecimiento como falso cuando este es muy estrecho (secuencia de leño tardío – inicial -tardío) y la secuencia de vasos en el límite del anillo no presenta un cambio en su diámetro tangencial (figura 33a, b), es decir su porosidad no es semicircular. En *Loxopterygium huasango* se caracteriza al anillo de crecimiento como falso cuando este es muy estrecho (leño tardío – inicial – tardío) y la secuencia de vasos en el límite del anillo algunas veces si presenta un cambio en su diámetro tangencial (figura 33c, d) producto de la formación de leño tardío, además en algunos casos la concentración de gomas en el leño tardío podrían parecer como anillos verdaderos (Rosero Alvarado, 2009).

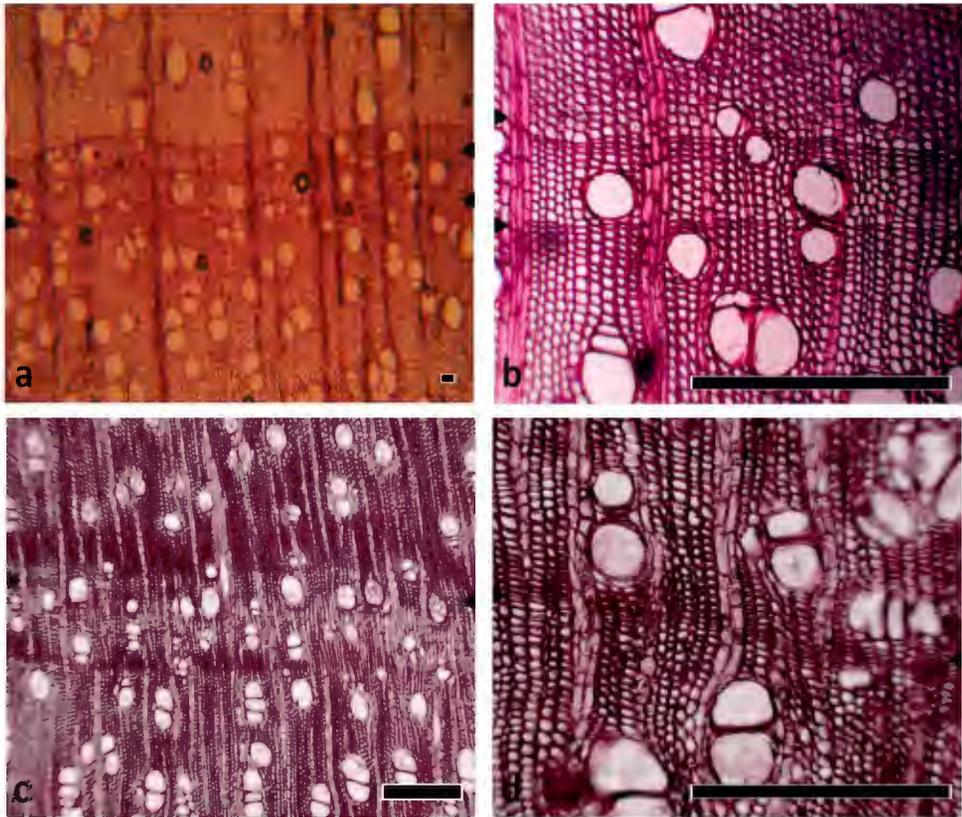


Figura 33 Imagen microscópica de la estructura anatómica de los anillos de crecimiento falsos en las especies en estudio. a) Vista macroscópica de anillos falsos en *Bursera graveolens*. b) Vista microscópica (100x) de anillos falsos en *Bursera graveolens* c) Vista microscópica (40x) de anillos falsos en *Loxopterygium huasango* d) Vista microscópica (100x) de anillos falsos en *Loxopterygium huasango*. Barra=50 μ

Anillos falsos también pueden ser formados en respuesta a daños en el tronco o por ataques de defoliadores u otro insecto que afecte el meristema primario, estrés hídrico e incendios forestales (HEINRICH, 2004; Rosero Alvarado, 2009).

Minimizar el efecto de la variabilidad entre anillos de crecimiento es importante para el análisis dendrocronológico; así como un adecuado muestreo y análisis del leño permite la identificación de la señal común y la reducción de la variabilidad interna por la correcta aplicación de técnicas de marcación, identificación y medición de anillos de crecimiento verdaderos.

4.2 ANALISIS DENDROCRONOLOGICO DE LAS ESPECIES DE BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO (BTES)

4.2.1 CONTROL DE CALIDAD DE SERIES DE ANILLOS Y CRONOLOGIA

De un total de 18 árboles muestreados en Tongorrape (10 árboles) y Mayascong (8 árboles) se midió el ancho de los anillos de crecimiento de 72 muestras del leño de las especies *Bursera graveolens* y *Loxopterygium huasango* obteniendo series de anillos (FRITTS, 1976). Para el análisis dendrocronológico solo se consideraron dos especies por presentar un alto potencial para estudios dendrocronológicos (Rodríguez et al., 2005) determinados anteriormente en la caracterización anatómica; sin embargo, hasta este momento la especie *Capparis scabrida* no será descartada del análisis por existir otra técnica que permita identificar el límite del anillo de crecimiento que se verá posteriormente en el ítem 4.3.2.

La ejecución del programa COFECHA (HOLMES, 1994; GRISSINO-MAYER, 2001) en la series de ancho de anillos permitió controlar su calidad, sincronizándolas con la serie master (promedio de las series individuales) detectando errores de medición. Las tendencias de crecimiento (ruido) fueron removidas de cada serie de anillos de crecimiento mediante la aplicación de una función *spline cúbico*, con un valor de límite de respuesta-frecuencia de 50% y una longitud de serie predeterminada de 32 años, donde cada valor de la serie es dividida por el correspondiente valor de la curva *spline*.

Realizado este ajuste el programa calculo (dividiendo cada valor del ancho por el valor *spline*) y comparo las series residuales, correlacionando segmentos de 30 años con intervalos de 15 años, detectando aparentes errores de medición, posiblemente debido a los anillos de crecimiento ausentes o falsos, evidenciados por bajas correlaciones entre las series y altas correlaciones en posiciones no fechadas dentro de la serie de anillos de crecimiento. De este modo, las series de anillos de crecimiento que mostraron bajas correlaciones y al mismo tiempo no llegan a un nivel de correlación crítico de significancia (Pearson 99%), fueron excluidos del análisis. Con esto, la señal común de las series restantes es maximizada obteniéndose una serie master solida que represente el comportamiento similar entre las series (Figura 34, 35, 36 y 37).

En Tongorrape del total de las series analizadas en el programa COFECHA solo 16 series (4 árboles) de la especie *Bursera graveolens* fueron correlacionadas mostrando valores de inter-correlación significativa de 0.588. En la misma área, 11 series (3 árboles) de la especie

Loxopterygium huasango mostraron una Intercorrelación significativa de 0.672. En el área de muestreo Mayascong los valores de correlación significativa para la especie *Bursera graveolens* fue de 0,614 correspondientes a 11 series (3 árboles) y para la especie *Loxopterygium huasango* fue de 0,507 correspondientes a 9 series (3 árboles). Estos resultados evidencian una respuesta común de cada especie en cada área de estudio (Cuadro 2).

Las series de ancho de anillos que no participaron en el análisis (restantes) fueron eliminadas debido a las irregularidades en el leño por obtener correlaciones bajas (tales como tortuosidad, madera de reacción, anillos falsos e indiferenciados, etc.). El control de calidad de las series e inter-correlaciones de las series de anillos de crecimiento en cada área de muestreo son mostradas en los cuadros 3, 4, 5 y 6.

Cuadro 2 Resultados del control de calidad de las series ejecutadas en el programa COFECHA

Área de muestreo	N° arb. (series)/ especie (TOTAL)		N° arb. (series)/especie (COFECHA)		Inter-correlación prom.		Longitud del segmento (años)
	<i>Bursera graveolens</i>	<i>Loxopterygium huasango</i>	<i>Bursera graveolens</i>	<i>Loxopterygium huasango</i>	<i>Bursera graveolens</i>	<i>Loxopterygium huasango</i>	
	Tongorrape	5(20)	5(20)	4(16)	3(11)	0,588	
Mayascong	4(16)	4(16)	3(11)	3(9)	0,614	0,507	30

Realizado el control de calidad de las series de anillos de crecimiento se obtuvo una cronología para cada especie por área de muestreo siendo estas *Bursera graveolens* (PALT), *Loxopterygium huasango* (HUAT) en Tongorrape y *Bursera graveolens* (PALM), *Loxopterygium huasango* (HUAM) en Mayascong. La ejecución del programa ARSTAN (COOK, 1985; COOK; HOLMES, 1985) aplica un modelo estocástico denominado *spline cubico*. El criterio de selección del mejor *spline cúbico* fue adoptado en función de la obtención de mejores resultados, para el caso de la dendroclimatología, aquel que produce una mejor reconstrucción climática (DELGADO, 2000).

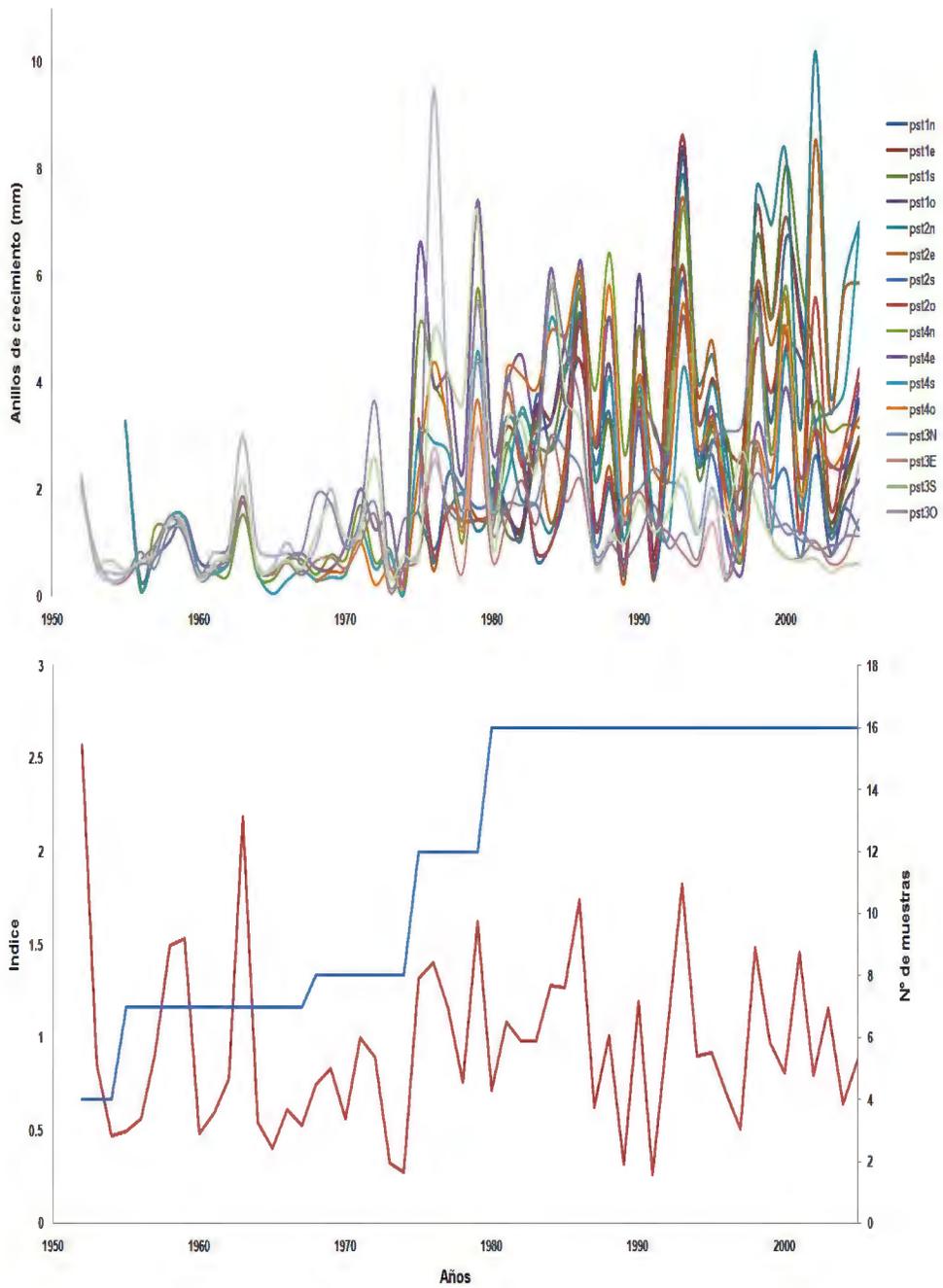


Figura 34 Series del ancho de anillos de crecimiento con señal común (superior), serie cronológica filtrada por COFECHA y obtenida con ARSTAN (Holmes, 1994) y numero de muestras utilizadas en el análisis de *Bursera graveolens* en Tongorrape (inferior)

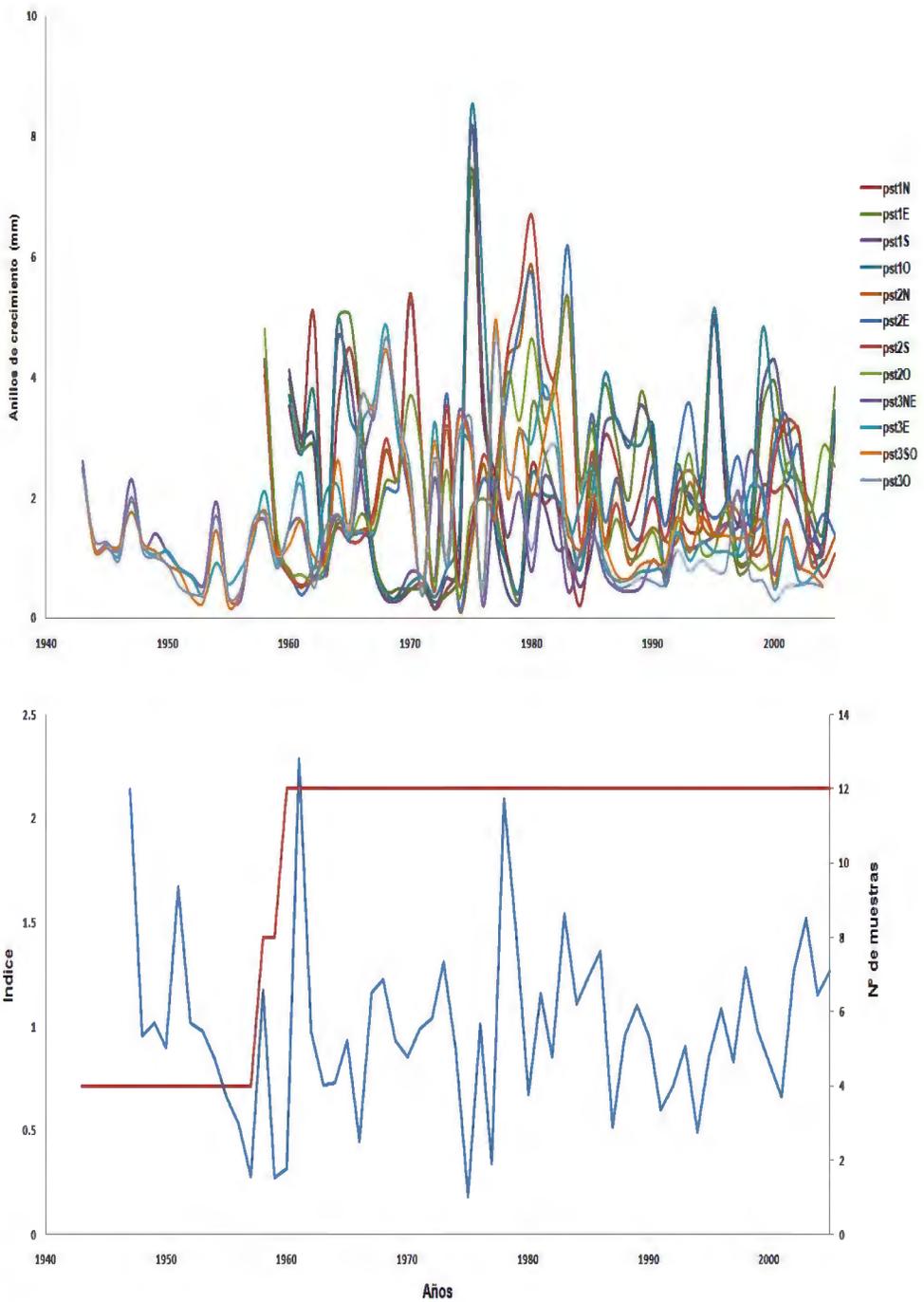


Figura 35 Series del ancho de anillos de crecimiento con señal común (superior), serie cronológica filtrada por COFECHA y obtenida con ARSTAN (Holmes, 1994) y numero de muestras utilizadas en el análisis de *Bursera graveolens* en Mayascong (inferior)

Cuadro 3 Inter-correlación de las series cronológicas a partir de los anchos de anillos de crecimiento para la especie *Bursera graveolens* en Tongorrape

Secuencia	Serie	Intervalo		Inter-correlación		
				1950-1979	1965-1994	1980-2005
1	PST1N	1979	2005		0,65	
2	PST1E	1979	2005		0,69	
3	PST1S	1979	2005		0,70	
4	PST1O	1979	2005		0,64	
5	PST2N	1974	2005		0,70	
6	PST2E	1974	2005		0,62	0,73
7	PST2S	1974	2005		0,45	0,68
8	PST2O	1974	2005		0,60	0,56
9	PST3N	1952	2005	0,74	0,57	0,29
10	PST3E	1952	2005	0,69	0,56	0,51
11	PST3S	1952	2005	0,66	0,55	0,36A
12	PST3O	1952	2005	0,76	0,55	0,50
13	PST4N	1954	2005	0,72	0,62	0,37B
14	PST4E	1954	2005	0,66	0,65	0,51
15	PST4S	1954	2005	0,71	0,69	0,52
16	PST4O	1967	2005		0,63	0,56
Correlación promedio				0,71	0,62	0,52

Correlación Pearson 99%, nivel crítico de correlación 0,4226; A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones mas elevadas que en otras posiciones

Cuadro 4 Inter-correlación de las series cronológicas a partir de los anchos de anillos de crecimiento para la especie *Bursera graveolens* en Mayascong

Secuencia	Serie	Intervalo		Inter-correlación			
				1935-1964	1950-1979	1965-1994	1980-2005
1	Palo1N	1960	2005		0,45	0,46B	0,56
2	Palo1E	1960	2005		0,45	0,35B	0,40B
3	Palo1S	1960	2005		0,48	0,52	0,50
4	Palo1O	1960	2005		0,37A	0,39B	0,55
5	Palo2N	1958	2005		0,73	0,72	0,64
6	Palo2E	1958	2005		0,71	0,71	0,48
7	Palo2S	1958	2005		0,78	0,80	0,65
8	Palo2O	1958	2005		0,78	0,79	0,36A
9	Palo3NE	1947	2005	0,80	0,73	0,55	0,45
10	Palo3E	1947	2005	0,73	0,69	0,68	0,53
11	Palo3SO	1947	2005	0,85	0,80	0,62	0,44B
Correlación promedio				0,79	0,63	0,60	0,50

Correlación Pearson 99%, nivel crítico de correlación 0,4226; A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones mas elevadas que en otras posiciones.

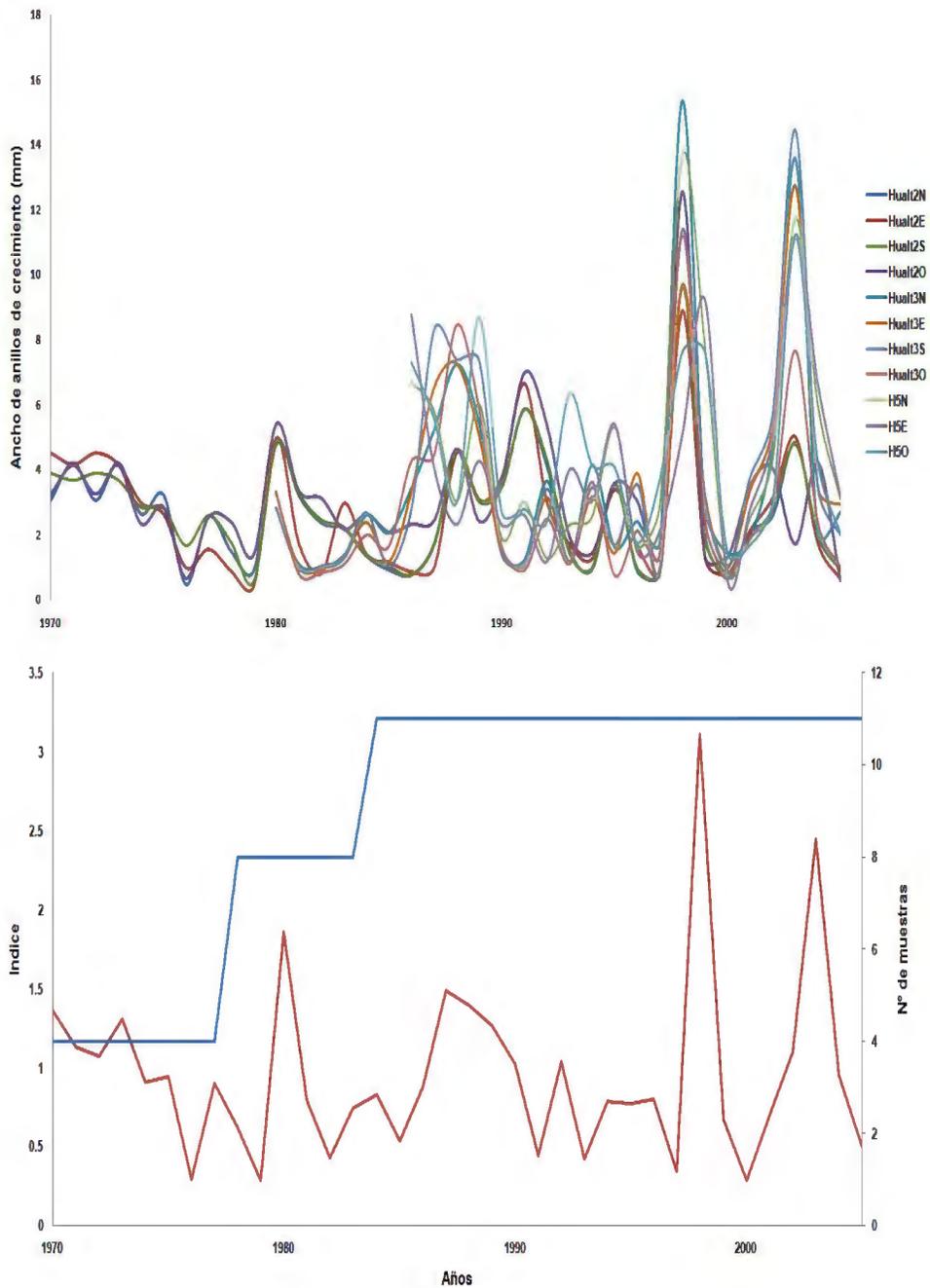


Figura 36 Series del ancho de anillos de crecimiento con señal común (superior), serie cronológica filtrada por COFECHA y obtenida con ARSTAN (Holmes, 1994) y numero de muestras utilizadas en el análisis de *Loxopterygium huasango* en Tongorrape (inferior)

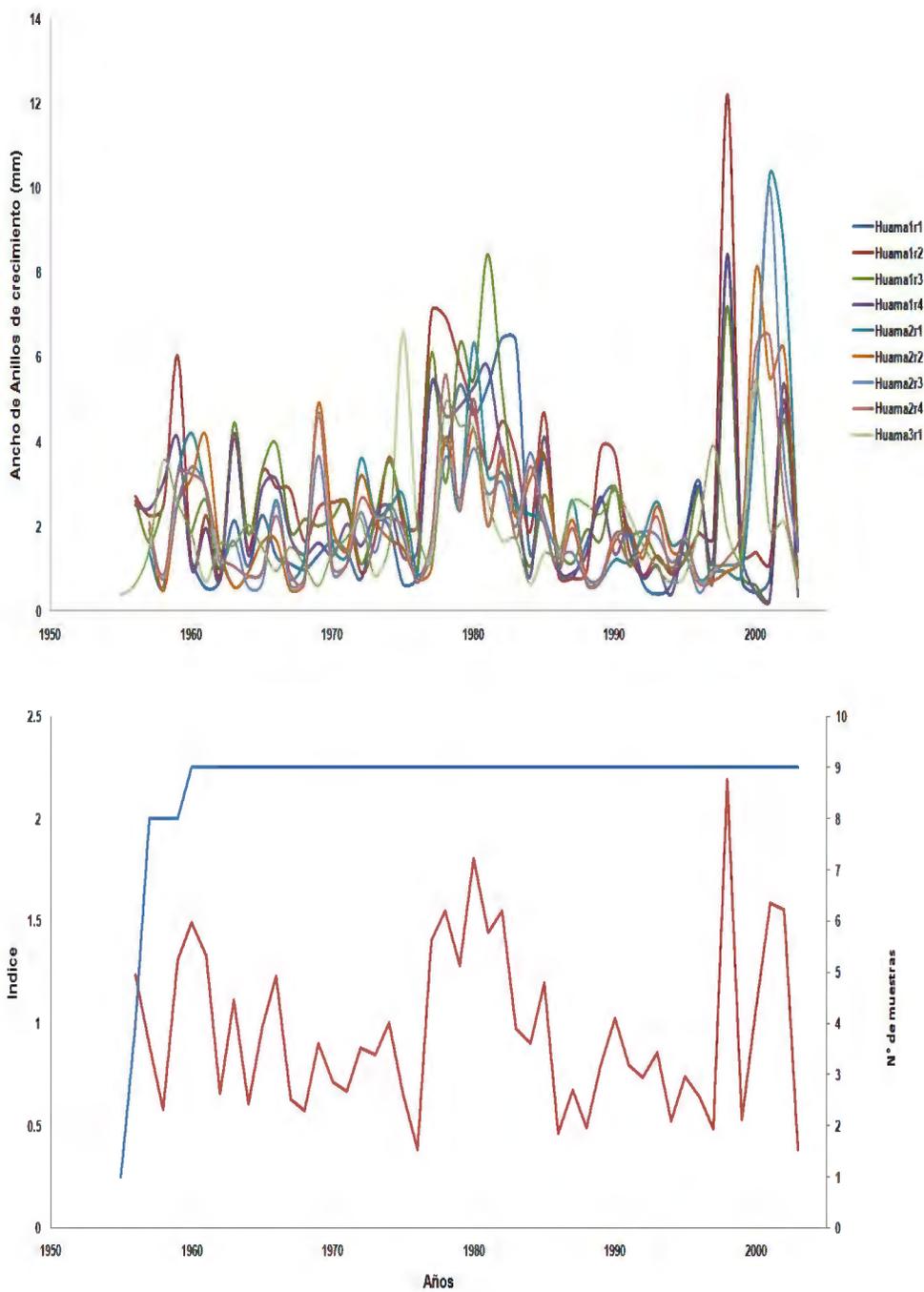


Figura 37 Series del ancho de anillos de crecimiento con señal común (superior), serie cronológica filtrada por COFECHA y obtenida con ARSTAN (Holmes, 1994) y numero de muestras utilizadas en el análisis de *Loxopterygium huasango* en Mayascong (inferior)

Cuadro 5 Inter-correlación de las series cronológicas a partir de los anchos de anillos de crecimiento para la especie *Loxopterygium huasango* en Tongorrape

Secuencia	Serie	Intervalo		Inter-correlación	
				1965-1994	1980-2005
1	Hualt2N	1968	2005	0,73	0,66
2	Hualt2E	1968	2005	0,71	0,69
3	Hualt2S	1968	2005	0,69	0,71
4	Hualt2O	1968	2005	0,75	0,57
5	Hualt3N	1978	2005	0,66	
6	Hualt3E	1978	2005	0,76	
7	Hual3S	1978	2005	0,72	
8	Hualt3O	1978	2005	0,66	
9	H5N	1985	2005		0,53
10	H5E	1985	2005		0,46
11	H5O	1985	2005		0,48
Correlación promedio				0,71	0,58

Correlación Pearson 99%, nivel crítico de correlación 0,4226; A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones mas elevadas que en otras posiciones

Cuadro 6 Inter-correlación de las series cronológicas a partir de los anchos de anillos de crecimiento para la especie *Loxopterygium huasango* en Mayascong

Secuencia	Serie	Intervalo		Inter-correlación		
				1950-1979	1965-1994	1980-2003
1	Huama1r1	1960	2003	0,53	0,53	0,55
2	Huama1r2	1957	2003	0,48	0,55	0,68
3	Huama1r3	1957	2003	0,58	0,59	0,55
4	Huama1r4	1957	2003	0,50	0,65	0,56
5	Huama2r1	1958	2003	0,68	0,67	0,65
6	Huama2r2	1958	2003	0,58	0,65	0,66
7	Huama2r3	1958	2003	0,67	0,68	0,68
8	Huama2r4	1958	2003	0,72	0,72	0,70
9	Huama3r1	1957	2003	0,38A	0,56	0,51
Correlación promedio				0,57	0,52	0,61

Correlación Pearson 99%, nivel crítico de correlación 0,4226; A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones mas elevadas que en otras posiciones

Las series ancho de anillos de cada especie/área de muestreo fueron estandarizadas aplicando el *spline cúbico*. El porcentaje de longitud usado fue de 67% sugerido por Cook (1989) y aplicado por Roig (2000), quien explica que las variancias de baja frecuencia se pierden, siendo la tendencia de crecimiento removida, permitiendo un mejor ajuste y un mayor número de segmentos de la serie de anillos de crecimiento. Holmes (1994) también sugiere aplicar una doble estandarización (“double detrending”) para remover las tendencias del efecto de crecimiento u otros factores por la aplicación de una curva exponencial negativa y un *spline*

cúbico. Se consigue un buen ajuste para los árboles jóvenes y adultos pues el *spline cúbico* es adecuado para los árboles adultos y senescentes. La curva exponencial negativa se ajusta muy bien a los árboles jóvenes corrigiendo las eficiencias de cada método. Cook (1989) examinando las propiedades de la doble estandarización (double detrending) encontró que la combinación del ajuste lineal o exponencial negativo más un simple *spline cúbico*.67% funcionan bien pues no remueven las variancias de baja frecuencia.

Las cronologías obtenidas para árboles de la especie *Bursera graveolens* en Tongorrape y Mayascong muestran una extensión de 54 años (1952-2005) y 59 años (1947-2005) respectivamente (figura 34, 35). Para la especie *Loxopterygium huasango* en las dos áreas de muestreo se obtuvieron extensiones de 36 años (1970-2005) y 47 años (1956-2003) respectivamente (figura 36, 37). En ambos casos el número de muestras del leño analizadas disminuye conforme aumenta la extensión (en años) de la cronología indicando su construcción con pocos árboles de mayor edad (viejos).

Las correlaciones significativas de las series de anillos de crecimiento demuestran que las poblaciones muestreadas en ambas áreas son capaces de sincronizarse obteniéndose cronologías master para cada población-especie. Las edades de los árboles de *Bursera graveolens* varían de 27 a 59 años y de *Loxopterygium huasango* varían de 21 a 47 años. En ambos casos se encontraron individuos de mayor edad en Mayascong (cuadro 7).

Cuadro 7 Edad de los árboles y periodo de cada serie cronológica de las especies en cada área de muestreo del Bosque Tropical Estacionalmente Seco ecuatorial (BTES)

Cronología	Árboles	Período	Edad (años)
PALT	PST1	1979-2005	27
	PST2	1974-2005	32
	PST3	1952-2005	54
	PST4	1954-2005	52
PALM	PALO1	1960-2005	46
	PALO2	1958-2005	48
	PALO3	1947-2005	59
HUAT	HUALT2	1968-2005	38
	HUALT3	1978-2005	28
	H5	1985-2005	21
HUAM	HUAMA1	1957-2003	47
	HUAMA2	1958-2003	46
	HUAMA3	1957-2003	47

La comparación de las cronologías master de las poblaciones/especie permite determinar la existencia de una señal común presente en la región que influye en el crecimiento del fuste de los árboles de ambas especies. La figura 38 y 39 muestran que las cronologías de los anillos de crecimiento de las poblaciones de la especie *Bursera graveolens* y *Loxopterygium huasango* no presentan una sincronización significativa. El coeficiente de correlación Pearson entre ambas fue de 0,033 para la especie *Bursera graveolens* y 0,227 para *Loxopterygium huasango* (cuadro 8) mostrando no ser significativas ($p \geq 0,05$), esto indica que el crecimiento en diámetro

del fuste en ambas especies fue diferente debido posiblemente a las diferentes condiciones de cada sitio como suelo, topografía, clima, competencia, etc. (Lara *et al.*, 2000; Rosero Alvarado 2009)

Cuadro 8 Coeficiente de correlación Pearson entre las cronologías máster de las poblaciones/especies

	PALT	PALM		HUAT	HUAM
PALT		0,033	HUAT		0,227
PALM			HUAM		

⁺⁺ nivel de 95% de confianza

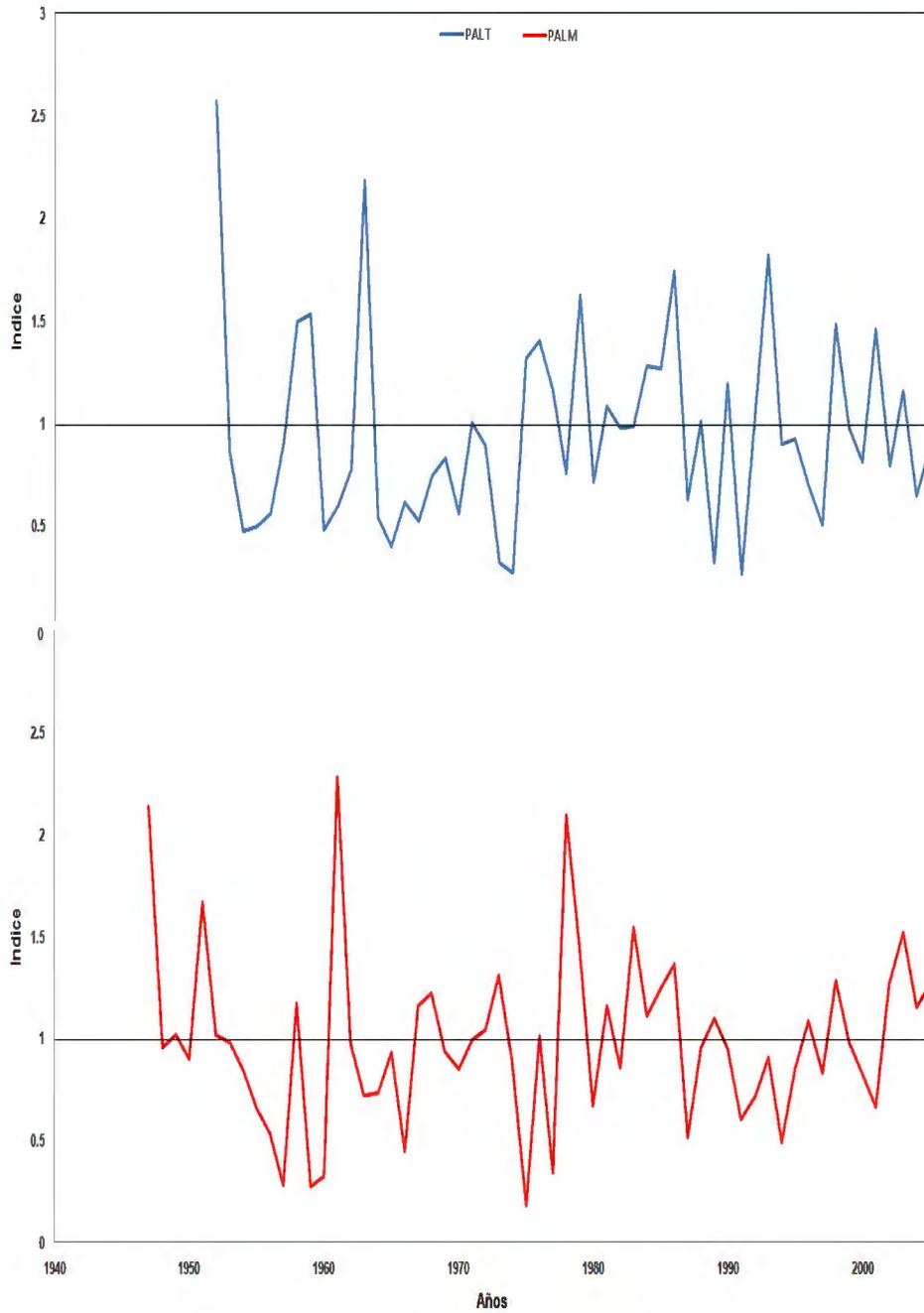


Figura 38 Comparación de las cronologías master de las poblaciones de *Bursera graveolens* correspondientes a Tongorrape (superior) y Mayascong (inferior).

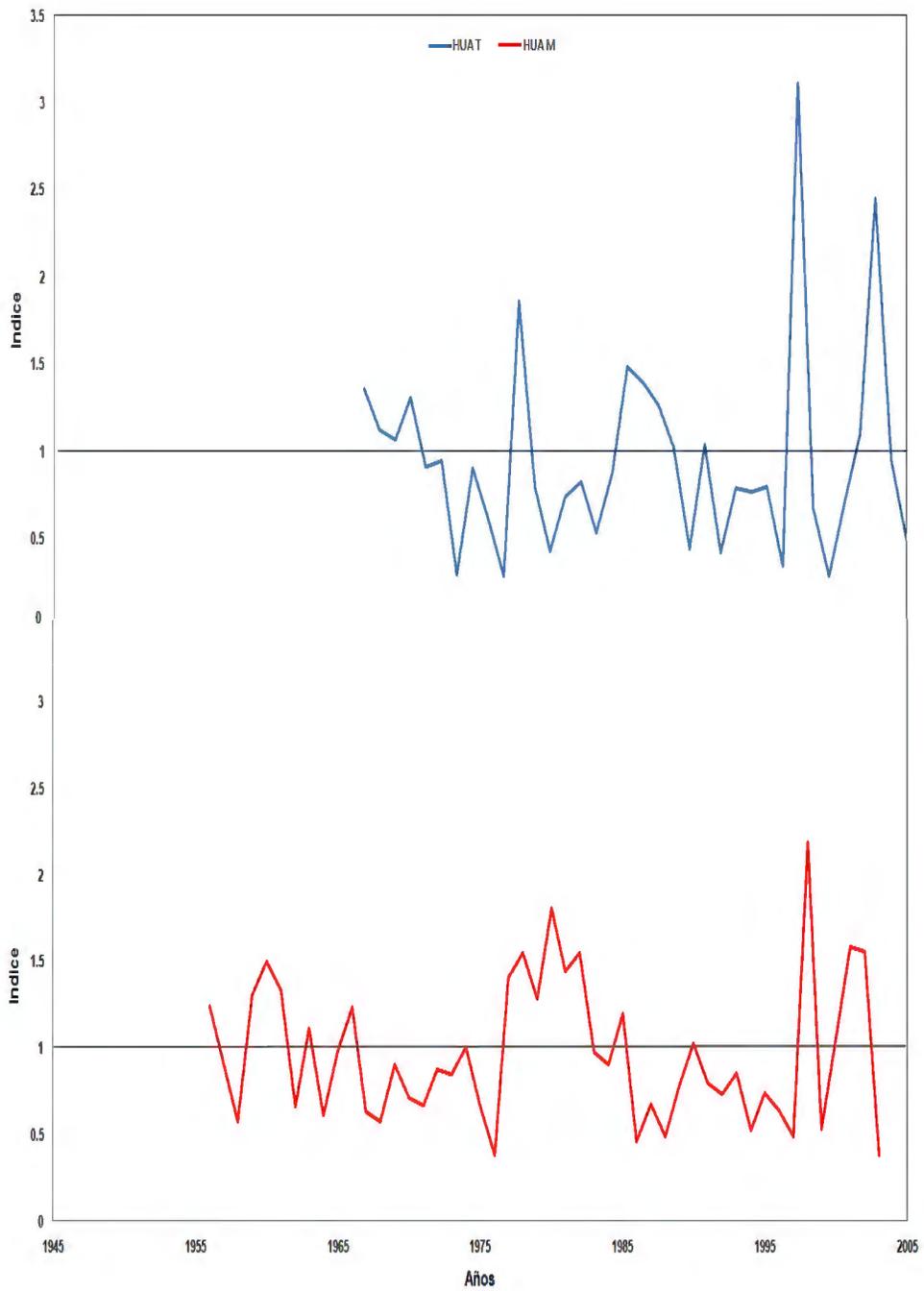


Figura 39 Comparación de las cronologías master de las poblaciones de *Loxopterygium huasango* correspondientes a Tongorrape (superior) y Mayascong (inferior).

4.2.2 ANALISIS DENDROCLIMATOLOGICO DE LAS SERIES CRONOLOGICAS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

La influencia de las variables climáticas en el crecimiento en diámetro del fuste de los árboles de las poblaciones de ambas especies fue comprobada mediante la correlación entre sus respectivas cronologías de anillos de crecimiento y la precipitación total anual de Lambayeque (figura 40 y 41).

Para los árboles de *Bursera graveolens* correspondientes a Tongorrape y Mayascong se obtuvieron coeficientes de correlación Pearson positivos y no significativos $r=0,196$; $p>0,05$ y $r=0,251$; $p>0,05$ entre las cronologías y la precipitación total anual. Estos datos podrían demostrar que la precipitación no influye fuertemente en la formación de anillos de crecimiento (cuadro 8); sin embargo, como podrá observarse en los últimos 20 años la especie si ha demostrado un comportamiento fiel a las precipitaciones. La baja correlación obtenida se debe probablemente a la mala calidad en la toma de datos meteorológicos de los últimos treinta años provenientes de la estación meteorológica de la Universidad Pedro Ruiz Gallo en Lambayeque. Además, el fenómeno El Niño del año 1997-98 marco una alta tasa en el crecimiento radial de esta especie registrándose como un anillo de crecimiento ancho en ambas áreas de muestreo. Ya el fenómeno El Niño de 1982-83 tuvo una mayor influencia en el crecimiento de la especie en el área de muestreo Mayascong (figura 40) que en Tongorrape. Así, Cordova (2003) determinó que la especie *Bursera graveolens* mostró un comportamiento positivo y significativo con registros climáticos de precipitación media de los últimos 50 años, además, la especie registró el fenómeno El Niño de los periodos de 1982-83 y 1997-98 en forma muy marcada con altas tasas de crecimiento (anillos anchos) producto de la alta precipitación pluviométrica del norte de Piura para esos años. Posteriormente Rodriguez *et al.* (2005) verificó la misma respuesta con especies del bosque seco tales como *Bursera graveolens*, *Loxopterygium huasango*, *Caesalpinea pai pai*, etc.

Para los árboles de la población de *Loxopterygium huasango* correspondientes a Tongorrape y Mayascong se obtuvieron coeficientes de correlación Pearson positivos significativos y no significativos $r=0,347$; $p\leq 0,05$ y $r=0,297$; $p\leq 0,05$ respectivamente; entre las cronologías y la precipitación total anual (cuadro 9). Estos resultados muestran que la precipitación total anual

influye significativamente en el crecimiento radial de la especie en Tongorrape. En Mayascong no se mostro significativo pero si positivo; sin embargo, también donde en los últimos 20 años que la especie en Mayascong ha demostrado un comportamiento fiel a las precipitaciones. La baja correlación se atribuye, a los valores de los primeros años de la serie meteorológica como en el caso anterior con *Bursera graveolens*. Se puede apreciar que el fenómeno El Niño del año de 1997-98 también marcó una alta tasa de crecimiento radial registrada en el anillo de ese año en los individuos de *Loxopterygium huasango* en ambas áreas de muestreo, y el fenómeno El Niño de 1982-83 solo fue registrado por la especie en Tongorrape (figura 41).

La sincronización entre las cronologías de ambas especies con la precipitación indica que esta es la principal variable climática actuante en el crecimiento en diámetro del fuste de los árboles de estas especies. Esta relación marca un crecimiento cíclico anual teniendo a la precipitación como el factor limitante (FRITTS, 1976) en los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos (BTES).

La falta de sincronía observada entre las cronologías de la misma especie indica la influencia de otra variable (o factor) que condiciona el crecimiento en diámetro de cada población.

Cuadro 9 Coeficiente de correlación Pearson entre las cronologías máster de las poblaciones/especies y la precipitación total anual de Lambayeque.

	PALT	PALM	HUAT	HUAM
Precipitación total anual	0,196	0,251	0,347+	0,297

+ nivel de 95% de confianza

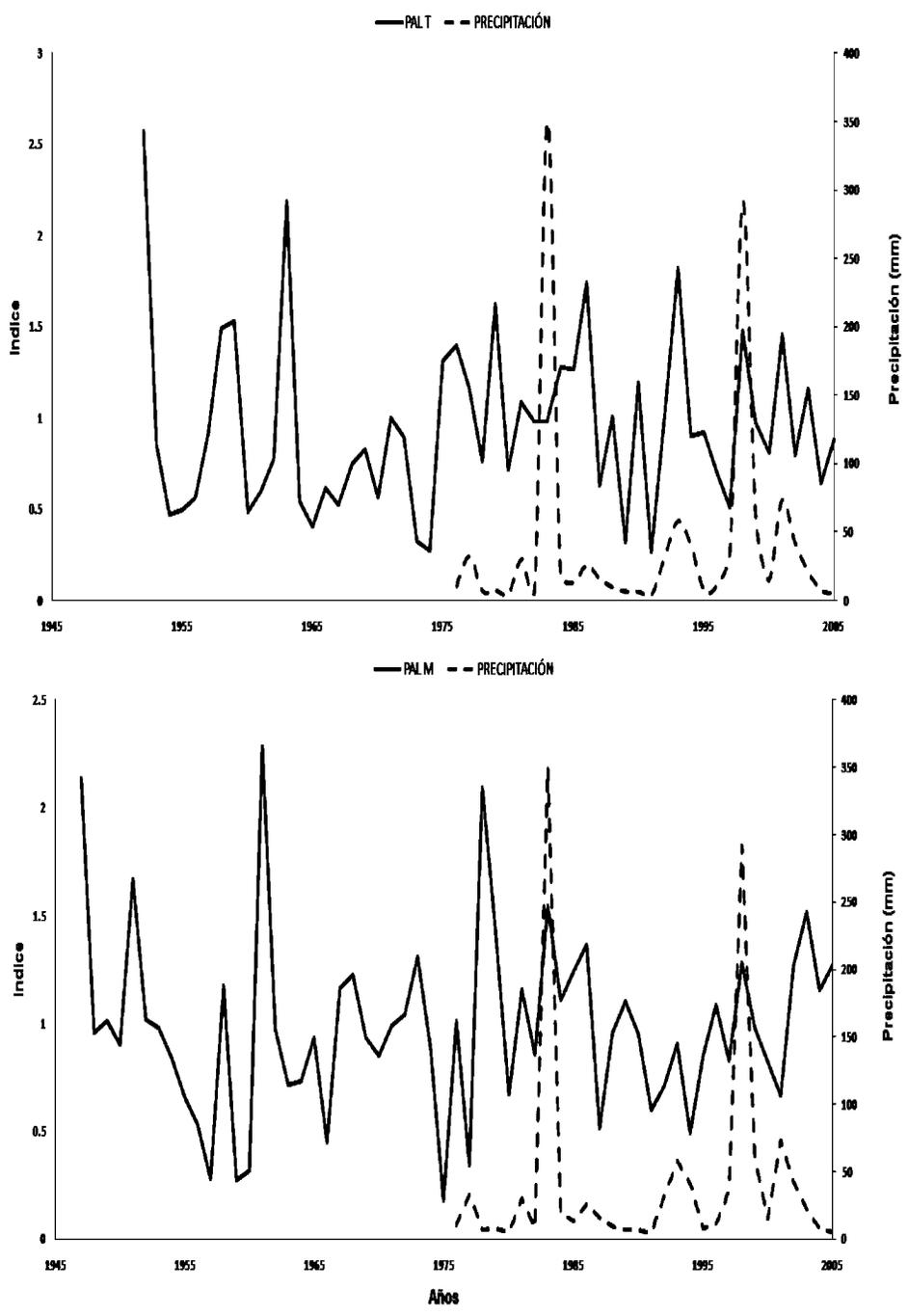


Figura 40 Correlación entre la cronología master de la población de *Bursera graveolens* correspondientes a Tongorrape (superior) y a Mayascong (inferior) con la precipitación total anual de Lambayeque

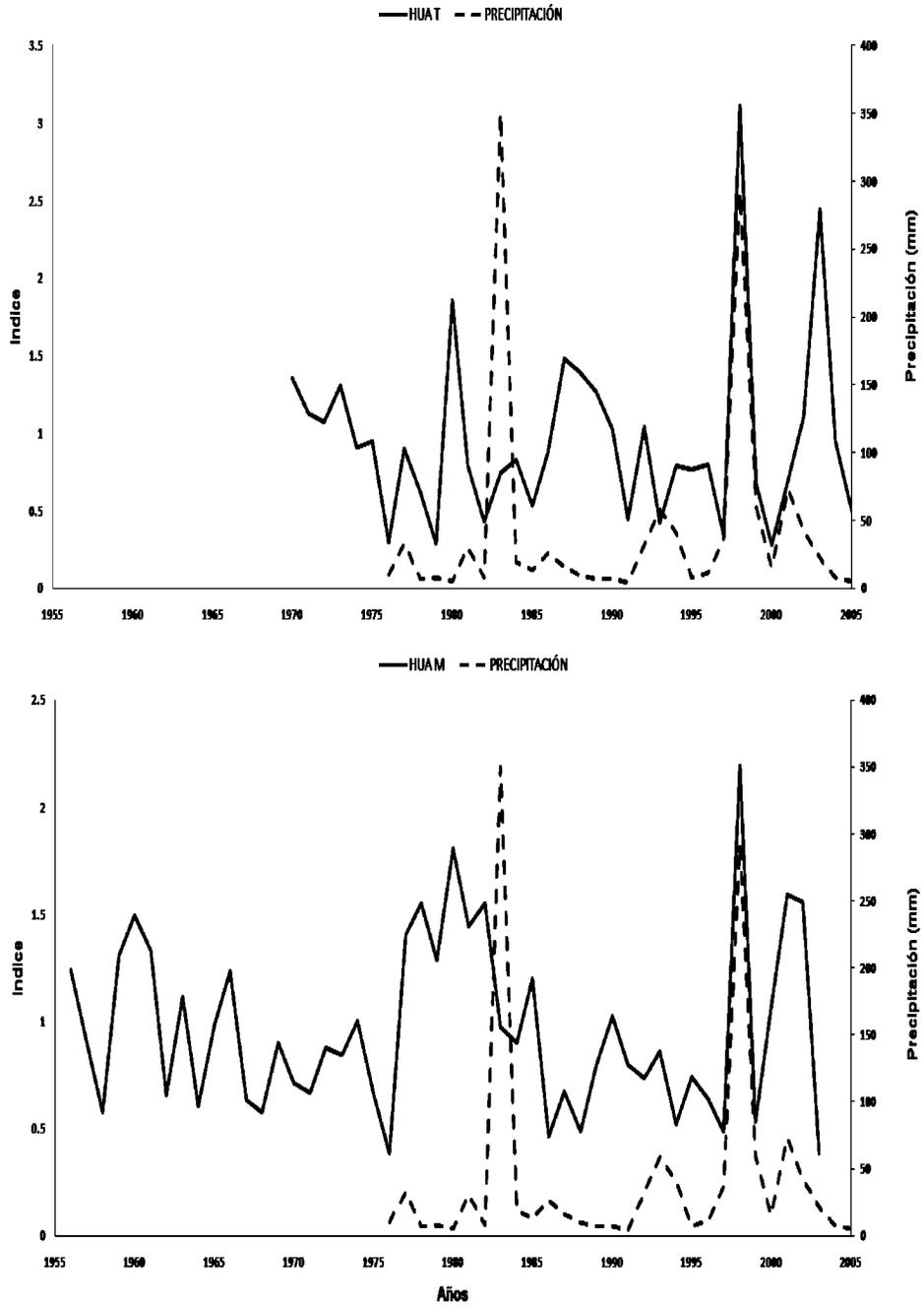


Figura 41 Correlación entre la cronología master de la población de *Loxopterygium huasango* correspondientes a Tongorrape (superior) y a Mayascong (inferior) con la precipitación total anual de Lambayeque

4.2.3 ANALISIS DENDROECOLOGICO DE LAS SERIES CRONOLOGICAS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

En la figura 42 se muestra la tendencia de crecimiento en diámetro para las especies Palo Santo y Hualtaco observándose una linealidad con Coeficientes de determinación altos ($R^2 > 0,9$). En el cuadro 10 se observa, que las tasas de crecimiento más altas en promedio se encontraron en el área de muestreo Tongorrape tanto para la especie *Bursera graveolens* (media 0,51cm/año) como para *Loxopterygium huasango* (media 0,65cm/año). En el área de muestreo Mayascong se observan tasas de crecimiento promedio bajas comparadas con las anteriores para la especie *Bursera graveolens* (media 0,40cm/año) como para *Loxopterygium huasango* (media 0,48cm/año). Estos resultados muestran que las condiciones de crecimiento locales son favorables (hídricas, suelo, disponibilidad de agua y nutrientes, nivel de noria etc.) para ambas especies en Tongorrape, mostrándose contrario en Mayascong donde la tasa promedio es significativamente menor (cuadro 10).

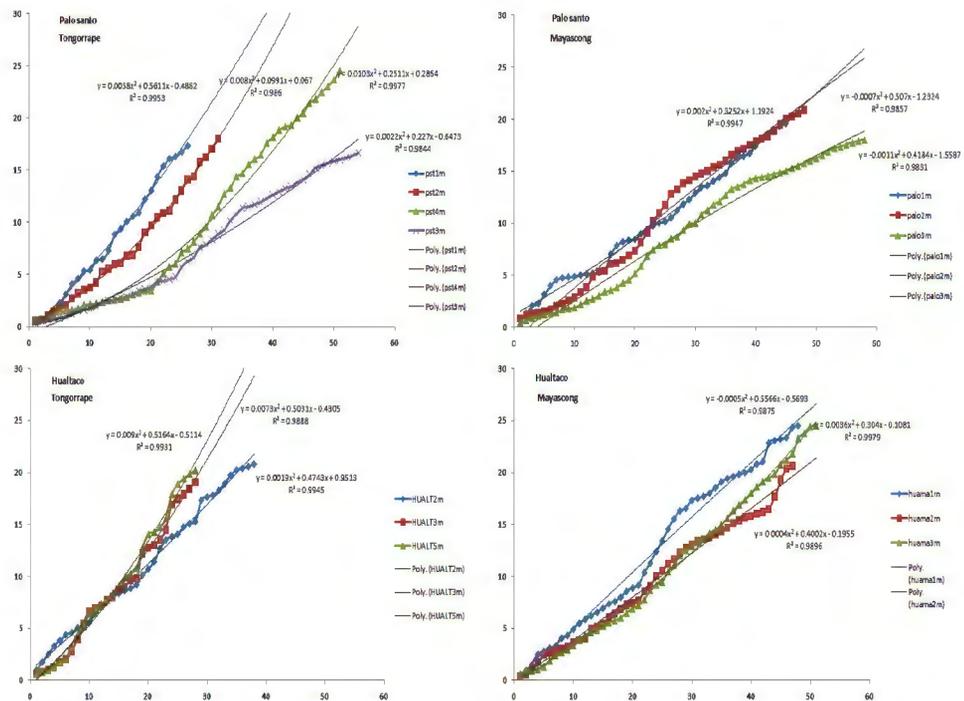


Figura 42 Líneas de tendencia de crecimiento en diámetro de las especies en estudio. Arriba: *Bursera graveolens* en Tongorrape y Mayascong. Abajo: *Loxopterygium huasango* en Tongorrape y Mayascong

Cuadro 10 Resumen de tasas de crecimiento en diámetro de las especies Palo Santo y Hualtaco en estudio

Cronologías/Sitio	Árboles	Diámetro	Edad	Tasas de crecimiento por anillos			
				Max. (mm)	min (mm)	media/año (cm)	desv std
PALT	pst1	17,3	27	7,87	0,49	0,67	1,86
	pst2	18,5	32	6,86	0,39	0,58	1,77
	pst3	25,5	54	6,04	0,21	0,48	1,70
	pst4	16,6	52	5,09	0,31	0,31	1,09
PALM	palo1	20,3	46	7,85	0,23	0,44	1,53
	palo2	20,9	48	5,72	0,32	0,43	1,31
	palo3	18,0	59	4,61	0,38	0,31	0,99
HUAT	hualt2	20,8	38	10,19	0,75	0,55	1,86
	hual3	19,0	28	12,11	0,94	0,68	2,95
	h5	20,1	21	11,56	0,94	0,72	2,60
HUAM	huama1	24,0	47	9,04	0,63	0,51	1,80
	huama2	23,3	46	8,09	0,63	0,44	1,57
	huama3	23,5	47	7,49	0,41	0,48	1,27

4.3 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE DENSITOMETRÍA POR RAYOS X EN ESTUDIOS DE DENDROCRONOLOGIA

4.3.1 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL LEÑO EN EL SENTIDO RADIAL DEL TRONCO EN ÁRBOLES DE BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO (BTES)

Los perfiles de densidad aparente del leño de los árboles de las especies *Bursera graveolens* y *Loxopterygium huasango* muestran una tendencia de aumento en el sentido medula-corteza con reducción de los valores en la albura región próxima a la corteza siendo más pronunciada en la especie *Loxopterygium huasango* (figura 43 y 44). Se observa que los árboles más viejos poseen leños con valores más altos de densidad aparente debido al mayor porcentaje de madera adulta y la disposición de extractivos en el duramen. Así, la reducción de los valores de densidad aparente en la albura comparada con el duramen en ambas especies se debe a la presencia de extractivos. El efecto de los extractivos en la densidad de la madera fue observada por Tomazello Filho (2008) en el leño de árboles de eucalipto, donde explica la presencia de una gran atenuación de los Rayos X en el duramen (mayor densidad) debido a la tilosis, baja permeabilidad y alta resistencia contra microorganismos.

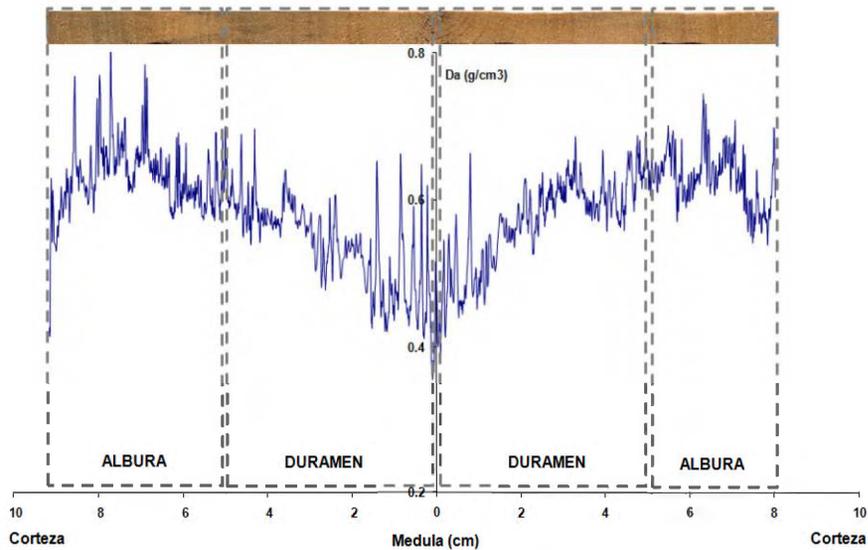


Figura 43 Perfil radial de densidad aparente en el leño de los árboles de *Bursera graveolens*. Tendencia de crecimiento y diferenciación de duramen y albura en el perfil

Los valores de densidad aparente promedio, mínimo y máximo del leño de los árboles de *Bursera graveolens* para Tongorrape fue de 0,57, 0,31 y 0,92g.cm⁻³ (cuadro 11) y para Mayascong 0,37, 0,067 y 0,76g.cm⁻³ (cuadro 12). No hay diferencias muy marcadas entre los valores de densidad promedio de leño de los individuos de cada zona de muestreo atribuyendo este resultado a que todos presentaron las mismas condiciones de crecimiento y formación (misma población de muestreo); sin embargo, las densidades promedio, máximas y mínimas generales de cada área de muestreo si mostraron ser significativamente diferentes posiblemente también a las condiciones propias del lugar (Mayascong).

Cuadro 11 Densidad aparente del leño de los árboles de *Bursera graveolens* correspondientes a Tongorrape

Muestra	Densidad promedio (g.cm ⁻³)	Densidad máxima (g.cm ⁻³)	Densidad mínima (g.cm ⁻³)	Desv. STD
PST1N	0,589	0,782	0,314	0,111
PST1S	0,648	1,568	0,341	0,130
PST2E	0,578	0,827	0,356	0,083
PST2O	0,594	0,745	0,392	0,069
PST3E	0,532	0,779	0,256	0,099
PST3O	0,515	0,769	0,236	0,109
PST4N	0,581	1,040	0,308	0,138
PST4S	0,628	0,997	0,397	0,097
P1O	0,466	0,809	0,229	0,097
Promedio	0,570	0,924	0,314	0,104

Cuadro 12 Densidad aparente del leño de los árboles de *Bursera graveolens* correspondientes a Mayascong

Muestra	Densidad promedio (g.cm ⁻³)	Densidad máxima (g.cm ⁻³)	Densidad mínima (g.cm ⁻³)	Desv. STD
PALO1N	0,455	0,821	0,127	0,152
PALO2S	0,382	0,811	0,075	0,151
PALO3SO	0,283	0,592	0,046	0,112
PALO4E	0,353	0,834	0,021	0,157
Promedio	0,368	0,765	0,067	0,143

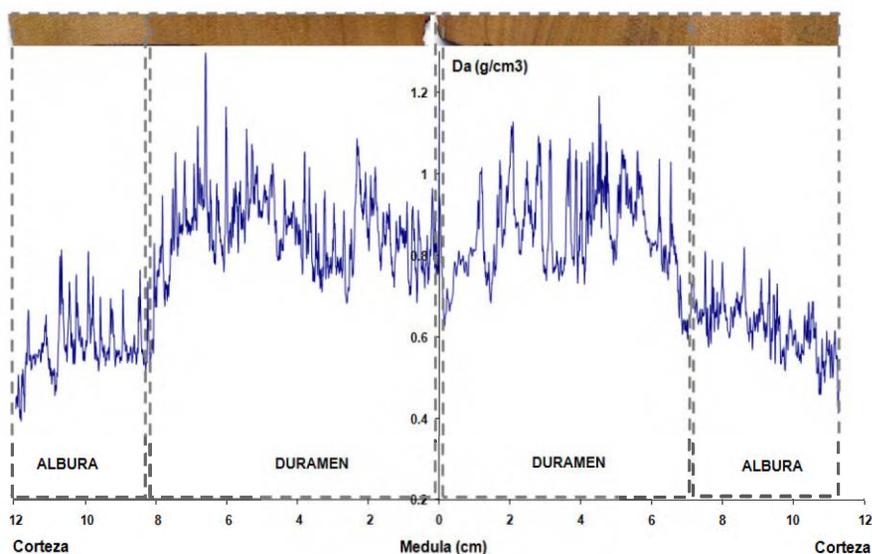


Figura 44 Perfil radial de densidad aparente en el leño de los árboles de *Loxopterygium huasango*. Tendencia de crecimiento y diferenciación de duramen y albura en el perfil

Los valores de densidad aparente promedio, mínimo y máximo del leño de los árboles de *Loxopterygium huasango* para Tongorrape fue de 0,88, 0,55 y 1,32g.cm⁻³ (cuadro 13) y para Mayascong 0,77, 0,33 y 1,12g.cm⁻³ (cuadro 14), observándose no hay diferencias muy marcadas entre los valores de densidad promedio de leño de los individuos de cada zona de muestreo, atribuyéndose este resultado también a que la gran mayoría presentaban edades parecidas (Cuadro 10). A diferencia de *Bursera graveolens* las densidades promedio, máximas y mínimas generales de cada área de muestreo tampoco mostraron ser significativamente diferentes.

Cuadro 13– Densidad aparente del leño de los árboles de *Loxopterygium huasango* correspondientes a Tongorrape

Muestras	Densidad promedio (g.cm ⁻³)	Densidad mínima (g.cm ⁻³)	Densidad máxima (g.cm ⁻³)	Desv. STD
H2E	0,861	0,496	1,226	0,140
H2O	0,774	0,364	1,154	0,112
H3E	0,974	0,620	1,487	0,175
H3O	0,911	0,592	1,448	0,118
H5E	0,857	0,511	1,371	0,137
H5O	0,885	0,567	1,226	0,129
H6N	0,794	0,598	1,220	0,109
H6S	0,856	0,528	1,348	0,111
H7E	0,871	0,530	1,222	0,090
H7O	1,058	0,715	1,459	0,125
Promedio	0,884	0,552	1,316	0,125

Cuadro 14 Densidad aparente del leño de los árboles de *Loxopterygium huasango* correspondientes a Mayascong

Muestras	Densidad promedio (g.cm ⁻³)	Densidad mínima (g.cm ⁻³)	Densidad máxima (g.cm ⁻³)	Desv. STD
HUA1N	0,518	0,228	0,706	0,084
HUA1S	0,629	0,270	0,971	0,144
HUA2N	0,919	0,326	0,919	0,085
HUA2S	0,612	0,353	0,905	0,085
HUA3E	0,773	0,396	1,298	0,157
HUA3O	0,784	0,415	1,192	0,157
HUA4N	1,005	0,402	1,550	0,148
HUA4S	0,921	0,257	1,401	0,125
Promedio	0,770	0,331	1,118	0,123

4.3.2 DEMARCACION Y EVALUACIÓN DEL ANCHO DE ANILLOS DE CRECIMIENTO POR DENSITOMETRIA DE RAYOS X

Los perfiles de densidad aparente del leño de los árboles de las especies *Bursera graveolens* y *Loxopterygium huasango* son caracterizados por el aumento de los valores de densidad coincidente con la demarcación del límite de los anillos de crecimiento. Este aumento de densidad, se debe a la estructura anatómica del anillo de crecimiento donde la presencia de fibras con paredes más gruesas en el límite del anillo ejerce una mayor atenuación de los Rayos X durante el proceso de irradiación del leño, cuya demarcación de los anillos de crecimiento a

través del perfil densitométrico ha sido aplicada por varios autores (FUJII; MARSOEM; FUJIWARA, 1998; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2000; Campos Zumaeta, 2009, Rosero Alvarado, 2009) para el leño de diferentes especies forestales.

El ancho de los anillos de crecimiento de ambas especies fueron obtenidos a través del perfil radial densitométrico del leño y de la mesa de medición Velmex para su correlación. El análisis de regresión de ambas técnicas mostro un valor de coeficiente de determinación para *Bursera graveolens* de $r^2 = 0,9799$ y $p < 0,05$, para *Loxopterygium huasango* un $r^2 = 0,9983$ y $p < 0,05$ siendo altamente significativos (figura 45). De esta manera, la densitometría de Rayos X demuestra ser una importante metodología para la determinación exacta del límite del anillo de crecimiento, identificación de anillos falsos siendo y su potencialidad para su aplicación en estudios dendrocronológicos.

No hubo correlación entre el ancho de los anillos de crecimiento y sus respectivos valores de densidad aparente promedio en la especie *Bursera graveolens* $r^2 = 0,0514$ y *Loxopterygium huasango* $r^2 = 0,0948$. Este resultado demuestra que para ambas especies la densidad aparente es independiente del ancho del respectivo anillo, los valores se encuentran muy dispersos y sin una clara tendencia visualizada por un valor bajo de r^2 . La no presencia de una relación entre la densidad aparente y el ancho de los anillos también fue observada en árboles de *Araucaria columnaris* (Medeiros, 2005) y *Swietenia macrophylla* (Rosero Alvarado, 2009)

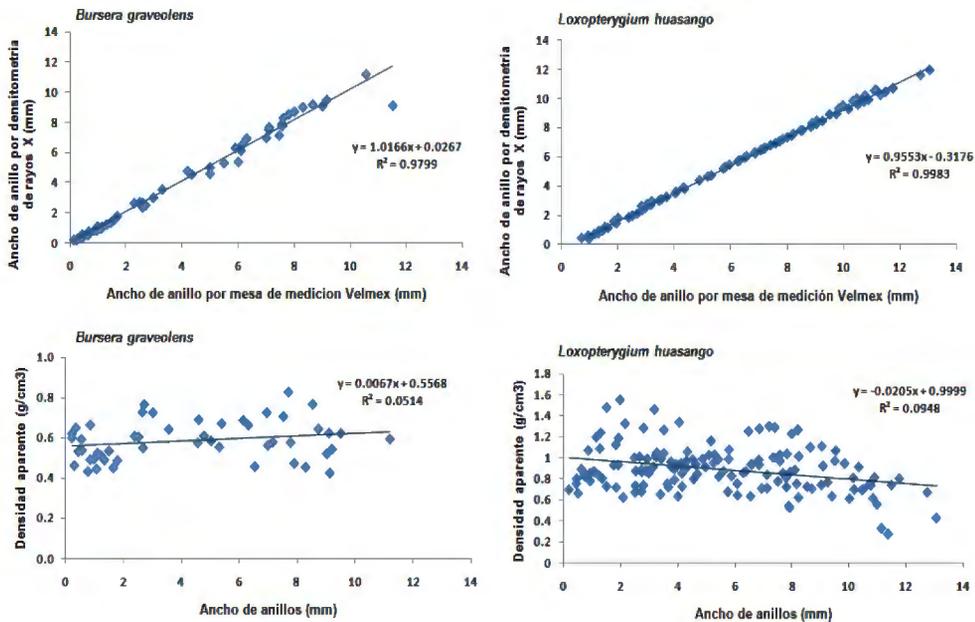


Figura 45 Regresión lineal del ancho de los anillos de crecimiento determinado por la mesa de medición y la técnica de densitometría por Rayos X en las especies de estudio (superior). Relación entre la densidad aparente promedio (g.cm-3) y el ancho (mm) de los anillos de crecimiento.

Como se comento anteriormente la técnica de densitometría de Rayos X tiene un gran potencial en la determinación del límite exacto del anillo de crecimiento, por lo que su aplicación podría darse en especies donde la diferenciación del anillo es difícil. Por esta razón se aplico la técnica de densitometría de Rayos X en muestras de *Capparis scabrída* con la finalidad de identificar el límite exacto del anillo ya que no se pudo realizar por medio del método convencional.

Como lo explicó la metodología (muestras irradiadas, placas reveladas y analizadas) la imagen de la muestra no fue reconocida por el programa CERD por lo que tampoco se pudo obtener un perfil de densidad aparente para esta especie (figura 46). Esto se debe probablemente a la cantidad de extractivos que no pudieron ser retirados por el método Soxlet sumado a la cantidad de parénquima en bandas delgadas en su sección transversal. La figura 45 muestra también que el programa CERD presenta un perfil previo de la especie (parte inferior superposé) caracterizado por una barra negra homogénea, esto indica la presencia de abundante parénquima que ocasiona una caída en el perfil densitométrico.

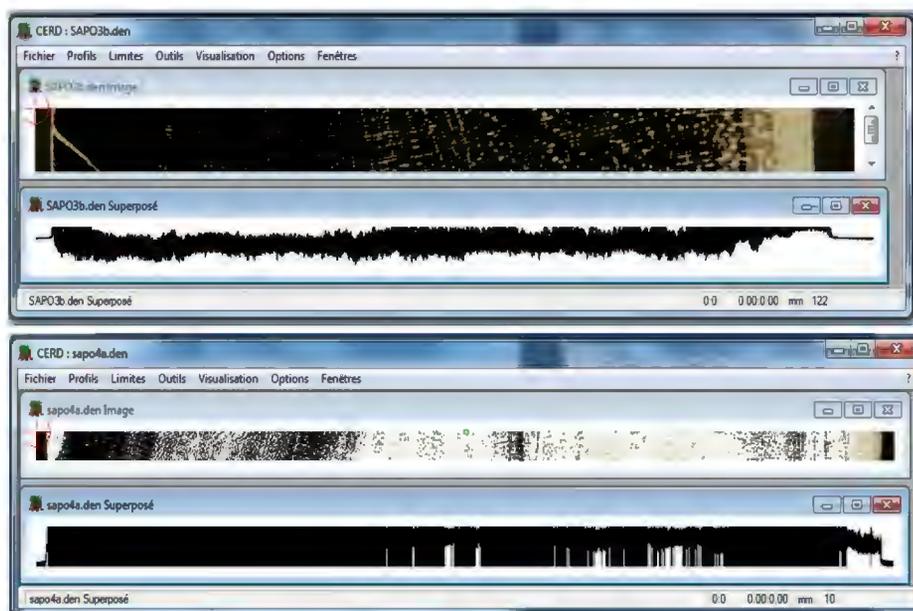


Figura 46 Imagen de la especie *Capparis scabrida* analizada en el software CIRD. Perfil densitométrico no identificado/analizado por el software.

5. CONCLUSIONES

- La estructura anatómica de los anillos de crecimiento en *Bursera graveolens* se caracteriza estrictamente por su porosidad semi circular y formación de tejido fibroso en el límite del anillo; en tanto *Loxopterigyum huasango* se caracteriza estrictamente por su porosidad difusa y formación de tejido fibroso en el límite del anillo confirmando la potencialidad ambas especies para estudios dendrocronológicos en la costa norte.
- La estructura anatómica de los anillos de crecimiento en *Capparis scabrida* no permite la correcta diferenciación del anillo por lo que se define como no potencial para estudios dendrocronológicos, a pesar de haber utilizado técnicas de auxilio como la técnica de Rayos X.
- La diferenciación de anillos falsos en la especie *Bursera graveolens* se rige estrictamente en la modificación en la porosidad y en la estrechez del anillo, ya en *Loxopterigyum huasango* su identificación se rige por un cambio en el diámetro tangencial del poro y concentración de gomas en leño tardío.
- Los árboles de *Bursera graveolens* y *Loxopterigyum huasango* forman anillos de crecimiento anuales comprobados mediante sincronización, dendroclimatología y técnica de Rayos X.
- Se obtuvieron cronologías cuya máxima extensión fue de 59 años (1947-2005) para *Bursera graveolens* y 47 años (1956-2003) para *Loxopterigyum huasango* ambas cronologías obtenidas para la zona de Mayascong.
- El análisis dendrocronológico mostro en árboles de *Bursera graveolens* y *Loxopterigyum huasango* que las dos poblaciones analizadas presentaron edades que varían de 27 a 59 y 21 a 47 años respectivamente.
- Los árboles de *Bursera graveolens* y *Loxopterigyum huasango* presentan para el crecimiento en diámetro del fuste una señal climática de respuesta común relacionada con la precipitación pluviométrica total e influenciada por las condiciones de sitio.

- En ambas especies se pudo comprobar la influencia del fenómeno de niño de 1997-1998 en el crecimiento en diámetro de los árboles de *Bursera graveolens* y *Loxopterigyum huasango* siendo mucho más marcado en esta última especie pudiéndose definir como una especie sensible a cambios climáticos y de gran potencial para estudios de reconstrucción climática en la costa norte.
- La tasa más alta de crecimiento fue encontrada en Tongorrape y corresponde a la especie *Loxopterigyum huasango* indicando así condiciones favorables para el desarrollo de esta especie en esta zona.
- La densitometría de Rayos X hace posible la identificación y demarcación exacta de los límites de los anillos de crecimiento en especies donde no se aprecia parénquima marginal, así como también permitió la diferenciación de las variaciones de densidad de los leños en el sentido medula corteza (radial).
- Los árboles de *Loxopterigyum huasango* de las dos áreas de muestreo no presentaron diferencias significativas para la densidad aparente promedio.
- Los árboles de *Bursera graveolens* de las dos áreas de muestreo sí presentaron diferencias significativas para la densidad aparente promedio. Sin embargo, no hay una variación dentro de cada población atribuyendo las diferencias a las condiciones de sitio.

6. RECOMENDACIONES

Promover esfuerzos futuros de investigaciones enfocándose más en métodos dinámicos de medidas periódicas y actividad fisiológica de fase fotosintética en la correlación a la actividad del cambium.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, M.; KIKATA, Y. 1994. "Atlas de maderas del Perú". UNALM. Lima – Perú.
Universidad de Nagoya. Japón
- AGUILAR P. 1990. Sinopsis sobre los eventos del Fenómeno del Niño en el Perú. Boletín
Lima 70 (1) 1- 12.
- AJMAL, S. Y M. IQBAL. 1987. Annual rhythm of cambial activity in *Streblus asper*.
- AKACHUKU, J. 1981. Estimation of volume and weight growth in *Gmelina arborea* with X
ray. In: FOREST RESOURCE INVENTORY, GROWTH MODELS,
MANAGEMENT PLANNING AND REMOTE SENSING, Orono. Proceedings...
Orono: University of Maine, the Plate Tree Institute of the School of Forest
Resources, 1981 p. 105-113.
- _____ 1984. The possibility of tree selection and breeding for genetic improvement of wood
properties of *Gmelina arborea*. Forest Science. Maryland. 30 (2) 275-283p.
- _____ 1985. Intra anual variation in wood density in *Gmelina arborea* from X-ray
densitometry and its relations with rainfall. Tree Ring Bulletin. Tucson, 45(1) 43-45p.
- ALJARO, M.; ÁVILA, G.; HOFFMAN, A. AND KUMMEROW, J. 1972 The annual rhythm
of cambial activity in two species of Chilean motorral. American Journal of Botany
59 (1) 879-885p
- AMARAL, A.C.B. 1994. Implantação da metodologia de densitometria de raios x em
madeiras. 1994. 143 p. dissertação (mestrado em ciências florestais) – Escola Superior
De Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- _____ 1998. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus Taeda* a través
de microdensitometria de raios X. Revista ciência e tecnologia. Piracicaba, 11/12 (6)
17-23p.
- AMOBI, C. C. 1973 Periodicity of wood formation in some trees of lowland rainforest in
Nigeria. annals botany n.s. (37) 211-218p
- ARNTZ, W., LANDA A., AND TARAZONA, J. (EDS). 1985. El niño, su impacto en la
fauna marina. Instituto del Mar del Perú. Boletín extraordinario. Callao-Perú 222 pp.

- ASH, J. 1983. Tree rings in tropical *Callitris macleayana* F. MUELL. Australian journal of botany 31 (1) 277-281p
- BARBER, R. T., AND F. P. CHAVEZ. 1983. Biological consequences of el nifio. Science 222: 1203-1210.
- BOTOSSO, P.C.; POVOA DE MATTOS, P. 2002. Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação. Colombo: Embrapa, 75 (1) 25 p
- BULLOCK, H.S., 1995. Plant reproduction in neotropical dry forest. pp 277-303. In: S.H. BULLOCK, H.A. MOONEY & MEDINA E. (eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University press, Cambridge
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. 1991. Anatomía da madeira São Paulo: nobel, 154p
- CALDERON C, 1999 Manejo forestal en los bosques secos, tecnologías aplicadas Universidad Nacional Agraria la Molina. Tesis de maestría, 130p
- CAMPOS-ZUMAETA, L.E.; LOBÃO, M.; ROSERO ALVARADO, J; TOMAZELLO FILHO, M; LISI, C.S.; TORRES, G.; YEPES, F. 2008 Potencialidad de especies forestales para dendrocronología a través de la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento en la Amazonía Peruano-Brasilera. in: congreso de estudiantes forestales, 7., 2008, Madre De Dios. Anales electronicos... Madre De Dios: UNAMAD. disponível em: <<http://www.unamad.edu.pe/eventosuni/conaef/>>. Acesso em: 08 fev. 2008.
- CAMPOS-ZUMAETA, L. E. C. 2009 Dendrocronología en árboles de tornillo, *Cedrelinga cateniformis* DUCKE (fabaceae), del centro de investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la amazonia, región Loreto – Perú. Perú: Dissertação (especialidade em bosques e gestão de recursos florestais) Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina 126p.
- CAMARGO, P. B.; SALOMÃO, R. P.; TRUMBORE, S.; MARTINELLI, L. A. 1994 How old are large brazil-nut trees (*Bertholletia excelsa*) in the Amazon?. Scientia agrícola, Piracicaba 51(2) 389-391p.

- CARDOSO, N.S.; TOMAZELLO FILHO, M. 1988 Análise da estrutura anatômica da madeira e dos anéis de crescimento de *Toona ciliata*, meliaceae. In: Congresso da sociedade paulista de botânica, 7., Anais... Rio claro: UNESP. p. 17-29.
- CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N; SCHIMEL, J. P. 1998 Ancient trees in Amazonía. rev. Nature, London 391(63).135-136p.
- CHERNAVSKAYA, M; GRISSINO-MAYER, H; PUNSHIN, 1999 A *Pinus tropicalis* growth responses to seasonal precipitation changes in wester cuba. In: Tree-ring Análisis biological, methodological and enviromental aspects. CAB international cabi publishing british library, London UK
- COOK, E.R. 1985 A time series analysis approach to tree-ring standardization. Thesis (PhD in management of watersheds) – Tucson, EE UU. University of Arizona,. 171 p.
- _____. 1989 A conceptual linear aggregate model for tree rings. In: COOK, E.R.; KARIUSTUS, A. (ed.). Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer academic. p. 102-103.
- COOK, E.R; HOLMES, R.L. 1985 Users manual for program Arstan. Palisades: Lamont-doherty earth observatory. 28 p.
- COOK, E.R.; KAIRIUKSTIS, L. 1989 Methods of dendrochronology: application on the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer academic,. 394 p.
- CÓRDOVA MARTINES, E.I. 2003 Reconstrucción climática a partir del anillado de los árboles de la costa norte del Perú. Tesis (Ing. industrial) Piura, PE: Universidad de Piura. 143 p.
- CORONA, E. 1986 Dendrochronologia: principi e applicazioni. verona: intituti italiano de dendrochornologia,. 103 p.
- CORREA, J.E. 2003 Dendrocronología, buscando las edades del árbol tropical. Revista el mueble y la madera,.Disponible en: <<http://www.revista-mm.com/rev41/art11.htm>> acceso em: 04 fev. 2009.

- _____. 2004 Aproximaciones a la escanografía por Rayos x para su aplicación en la xilología y en las prácticas con barreno de pressler. 2004. 120 p. monografía (Trabajo de conclusión de curso de ingeniería florestal) – Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- DADSWELL, H.E.. 1960 Tree growth wood property interrelationship. Raleigh: North Carolina State University. 86 p.
- DELGADO S.C. 2000 Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos. In: ROIG, F.A. (comp.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: Editorial de la Universidad nacional de Cuyo. p. 79-102.
- DÉTIENNE, P. 1976. Nature et périodicité des cernes le bois d'iroko. *ctft, noyent – sur-marne*: 20 p.
- DÉTIENNE, P. & MARIAUX, A. 1977. Nature et périodicité des cernes dans le bois rouges de méliacées africaines. *bois et forêt des tropiques* 175: 53-61.
- DÉTIENNE, P. 1989 Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. *Iawa bulletin n.s.* 10(2), 123-132
- DÜNISCH, O.; MONTÓIA, V.R.; BAUCH J.; 2003 Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (meliaceae) in the central Amazon. *Trees: structure and function*, Berlin. 17(1) 244–250p.
- DÜNISH, O.; AZEVEDO, C.P.; GASPAROTTO, L.; MONTÓIA, G.R.; DA SILVA, G.J.; SCHWARZ, T. 2002. Light, water and nutrient demand for the growth of three high quality timber species (meliaceae). *Journal of applied botany*, Göttingen, 76 (1) 29-40p
- EGUIGUREN, V. 1894. Las lluvias en Piura. *Bol.Soc.Geog.Lima*, 4: 241-258
- FRITTS, H. C. 1976 Tree ring and climate. Laboratory of tree ring, research University of Arizona-Tucson. U.S.A. p 567
- FRITTS, H.C. & A.V. SHASHKIN, 1995: Modelling tree-ring structure as related to temperature, precipitation, and day length. In: LEWES, T.E. (ed), tree rings as indicators of ecosystem health. CRC press London: 17-57

- FUJII, T.; MARSOEM, S.N.; FUJIWARA, T. 1998 Annual growth rings in mahogany - *Swietenia macrophylla* - grown IN: Java. Iawa journal, national herbarium Nederland, Leiden. 19(4) 256-264p.
- GENTRY, AH., 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. in bullock, sh., mooney, ha. and medina, e. (eds.). seasonal dry tropical forests. Cambridge: cambridge university press. p. 146-194.
- GRISSINO-MAYER, H.D. 2001 Evaluating crossdating accuracy: manual and tutorial for the computer program COFECHA. Tree ring research, Tucson, 57(1) 205-221p.
- GRISSINO-MAYER, H.D., 2005. Seasonally-resolved tree-ring isotope records of tropical cyclones, droughts and multi-decadal climate oscillations, Southeastern US. Nasa earth observatory october Georgia, EE UU.
- GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. 2002 Mogno na amazônia brasileira: ecologia e perspectivas de manejo. Belém: imazon,. 40p.
- GULLISON, R.E.; PANFIL, S.N.; STROUSE, S.S.; HUBBEL, S.P. 1996 Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* king) in the chimanes forest, Beni, Bolivia. Botanical journal of the Linnean Society. London, v. 122, p. 9-34,.
- HARJU, L.; LILL, J. O.; SAARELA, K. E.; HESELIUS, S. J.; HERNBERG, F. J.; LINDROSS, A., 1996 Study of seasonal variations of trace-element concentrations within tree rings by thick-target PIXE analyses, Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. B, 109-110, 536-541
- HAYGREEN J, 1982 Properties of wood building materials forest products department University of Minnesota, St Paul, USA In: Wood as structural material
- HAYGREEN, J.; BOWYER J, 1982 Forest products and world science: An introduction. Ames: the Iowa state university press. 496 p.
- HIENRICH, I. 2004 Dendroclimatology of *Toona ciliata*.. 235 p. thesis (PhD in management resources and environmental science) - School of resources, environment and society, Australian national University, Canberra,.
- HOLMES, R.L. 1994 Dendrochronology: program manual. Tucson: laboratory of tree-ring research,. 40p.

- HOLMES, R.L.; ADAMS, R.K.; FRITTS, H.C. 1986 Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program Cofecha. In: _____. Tree-ring chronologies of western north america: California, eastern Oregon and northern great basin. Tucson: Arizona university, p. 15-35
- IAWA COMMITTEE 1989. IAWA list of microscopic feature for hardwood identification. IAWA bulletin, Leiden, 10(3) 219 – 332p
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES, 1982 Plan maestro de manejo forestal para el noroeste del Perú. LIMA,
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES. 1975 Mapa de suelos del Perú. LIMA: INRENA,. 1 MAPA. Escala 1:100 000.
- _____. 1994 Plan maestro de manejo forestal para alto purus. LIMA: INRENA,. 33p.
- _____. 1995 Mapa de ecorregiones del Perú. LIMA: INRENA,. 1 MAPA. Escala 1:100 000.
- _____. 2000 Mapa de forestal del Perú. LIMA: INRENA,. MAPA. Escala 1:100 000.
- JACOBY, G. 1989 Overview of tree-ring analysis in tropical regions. IAWA bulletin, national herbarium, Nederland, Leiden, 10 (2) 99-108p.
- JALIL NRA, ITOH T, SAHRI MH, JUSOH MZ. 1998. Periodicity of xylem growth of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) grown In: malaysia. Holzforschung 52: 567–572.
- JONES, F.W., PARKER, M.L. 1970. G.S.C. Tree-ring scanning densitometer and data acquisition system. Tree-ring bulletin 30:23-31p
- JOHANSEN, D.A. Plant microtechnique. New york: MCgraw hill, 1940. 523 p.
- KENNEL, M.; SCHWEINGRUBER, F.H. 1995. Multilingual glossary of dendrochronology: terms and definitions in english, german, french, spanish, italian, portuguese and russian. Birmensdorf berne; stuttgart; vienna: swiss federal institute for forest, snow and landscape research;. 467 p.
- KIPFMUELLER, K. F. AND T. W. SWETNAM. 2001 Using dendrochronology to reconstruct the history of ecosystems. Chapter 8, pages 199-228, in d. Egan and e. A. Howell eds., techniques for discovering historic ecosystems. Island press, Washington.

- KRAMER P.J., AND T.T. KOZLOWSKI. 1979. Physiology of woody plants. Academic press, New york, New york.
- LAMB F. B. 1966 Mahogany of tropical america: its ecology and management. Ann Arbor: University of Michigan press, 220 p.
- LARA, A; VILLALBA, R; ARAVENA, J.C.;WOLODARSKY, A.; NEIRA, E. 2000 Desarrollo de una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (alerce) para chile y argentina. IN: ROIG, F.A. (COMP.). Dendrocronología en América latina. Mendoza: editorial de laUniversidad Nacional de Cuyo. 217-244 p.
- LARSON, P.R. 1963. Microscopic wood characteristics and their variations with tree growth. In: IUFRO congress: meeting of the section 41, 14. 1963, Madison. Madison.11-13p.
- LINARES-PALOMINO R., 2004 Los bosques tropicales estacionalmente secos. II fitogeografía y composición florística. Alnaldoa
- LINARES-PALOMINO R, A 2002 Floristic and phytogeographic análisis of peruvian seasonally dry tropical forest. Msc thesis, Universiti of Edinburgh, UK
- LOUZADA, C.T.D. 1990 Desenvolvimento de metodologia de inventario florestal continuo em eucalyptus para classificacão de sitio. In: Congresso florestal brasileiro, 6. Campos do jordão. Anais... São paulo: sbs; sbef, 1990. V. 3, p. 67-72.
- MARIAUX , 1967. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et periodicité. Bois et forêts des tropiques, Montpellier, v. 113, p. 3-14
- MARIEN, J. N.; THIBOUT, H. 1980 Les eucalyptus en france: rythmes de croissance en fonction des conditions climatiques. Recherches sylvicoles. Paris, p. 273-299..
- MEGRAW, R.A. 1985. Wood qualityfactors inloblollypine-theinfluence oftreeage,position intreeand culturalpracticeon wood specificgravity, Fiberlength, andfibril angle.tappi press, Atlanta, GA.
- MOTHE, F.; DUCHANOIS, G.; ZANNIER, B.; LEBAN, J.M. 1998 Microdensitometric analysis of wood samples: data computation method used at intra-erqb (cerd program). Annales des sciences forestières, versalles, 55(3) 301-313p.

- MORIZAKI T., 1998 Política de manejo de bosques secos. En: bosques secos y desertificación PROYECTO ALGARROBO-INRENA.
- MOZETO, A., P. FRITS, M. MOREIRA, R. VETTER, R. ARAVENA, E. SALATI & R. DRIMMIE. 1988. GROWTH Rates of natural amazonian forest trees based on radio-carbon measurements. Radiocarbon 30: 1-6.
- PARKER, M.; MELESKE, K. Preparation of x-ray negatives of tree ring specimens for dendrochronological analysis. Tree ring bulletin, Tucson, v. 30, p. 1-22, 1970.
- PARKER, M.L. 1971. Dendrochronological techniques used by the geological survey of canadá. IN: Geological survey of Canada bulletin, 1-71 p.
- PARKER, M.L., AND R.W. KENNEDY. 1973. The status of radiation densitometry for measurement of wood specific gravity. Proc. IUFRO conf., sept-oct. 1973, cape town, South Africa
- PENNINGTON, RT; PRADO D & PENDRY C.D. 2000 Neotropical seasonally dry forest and quaternary vegetations changes. Journal of biogeography 27: 261-273
- PERES, C. M.; MOYA, R. R.; TOMAZELLO Fº, M. 2005 Manual de aplicação: densitometria de raios x em amostras de madeira, crad e cerd. Departamento de ciências florestais / Escola superior de agricultura luiz de queiroz esalq – Usp. Piracicaba. São paulo, Brasil.
- POLGE, H. 1978 .Fifteen years of wood radiation densitometry. Wood science and technology, Berlin, v. 12, p. 187-196,
- _____. 1966 établissement dès courber de variation de la densité dus bois par exploration densitometrique de radiographies d' echantillons prelevés a la tariere de sur dès arbres vivants. Aplication dans lês domaines technologique et physiologique. Annales sciences forestieres, Versailles, v. 23, n. 1, p. 1-206.
- POLGE, H.; ILLY, J. 1967 Observations sur l'anisotropie du pin maritime des landes. Annales sciences forestieres, Versailles, 26 (1) 45-64p.

- POVOA DE MATTOS, P; ARNO, R; BOLZON DE MUNIZ, G. 1999 Identification of annual growth rings based on periodical shoot growth. In: tree-ring analysis biological, methodological and environmental aspects cab international. Cabi Publishing British library, London UK.
- PRADO D. A 1991 Critical evaluation of the floristic links between chaco and caatingas vegetation in south america PhD Thesis University of st. Andrews UK.
- PRADO D. & GIBAS P, 1993 Patterns of species distribution in the dry seasonal forests of south america. Ann. Missouri bot. Gard. 80: 902-827
- PROYECTO ALGARROBO, 2003 Resumen ejecutivo 2003. Proyecto algarrobo. Chiclayo, Perú.
- PRIYA, P.B. & K.M. BHAT 1999 Influence of rainfall, irrigation and age of the growth periodicity and wood structure in teak (*tectona grandis*). IAWA journal 20: 181-192
- RAO, K.S; DAVE, Y.S. 1981. Seasonal variation in the cambial anatomy of *tectona grandis* verbenaceae. Nordic journal botany 1, 535-542
- RODRIGUEZ, R., R. WOODMAN, B. BALSLEY, A. MABRES & R. PHIPPS. 1993. Avances sobre estudios dendrocronologicos em la región costera del Perú para obtener un registro pasado del fenómeno el niño. Instituto francés de estudios andinos 2(1): 267-281.
- RODRIGUEZ R; MABRES A; LUCKMAN B; EVANS M; MASIOKAS M; EKTVEDT. 2005 "El niño" events recorded in dry-forest of the lowlands of northwest Perú. Elsevier Dendrochronologia
- ROIG, F. A. 2000 Dendrocronología en los bosques del neotrópico: revisión y prospección futura. IN: ROIG, F. A. Dendrocronología en américa latina. Mendoza: Ediunc, p 307-355
- ROSERO-ALVARADO, J. 2009 Dendrocronologia de árvores de mogno, *swietenia macrophylla* king., meliaceae, ocorrentes na floresta tropical amazônica do departamento de madre de dios, Perú. Piracicaba: esalq/usp, 2009. 131 f. Dissertação (mestrado em recursos florestais, com opção em tecnologia de produtos florestais) - Escola superior de agricultura "Luiz de queiroz", Universidade de São paulo,.

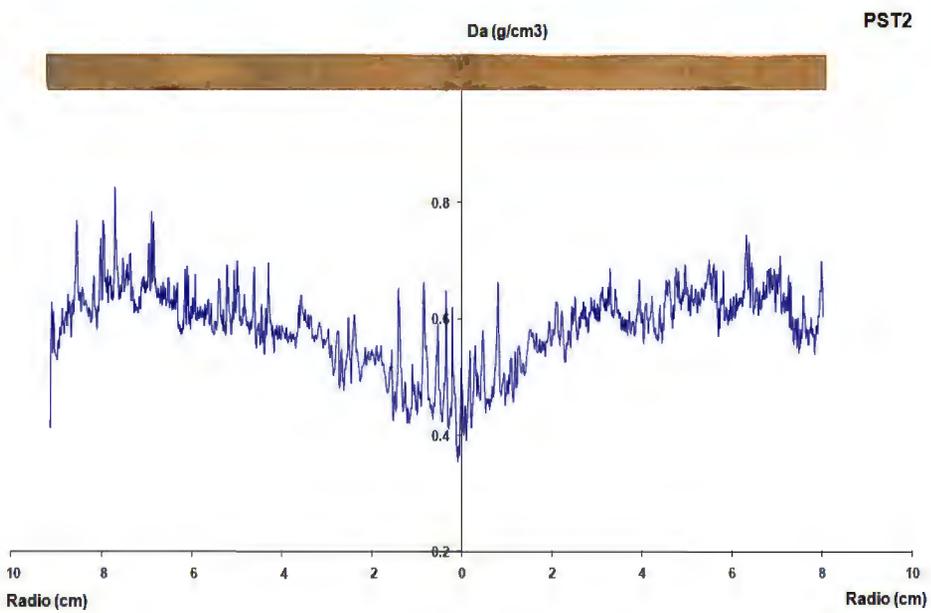
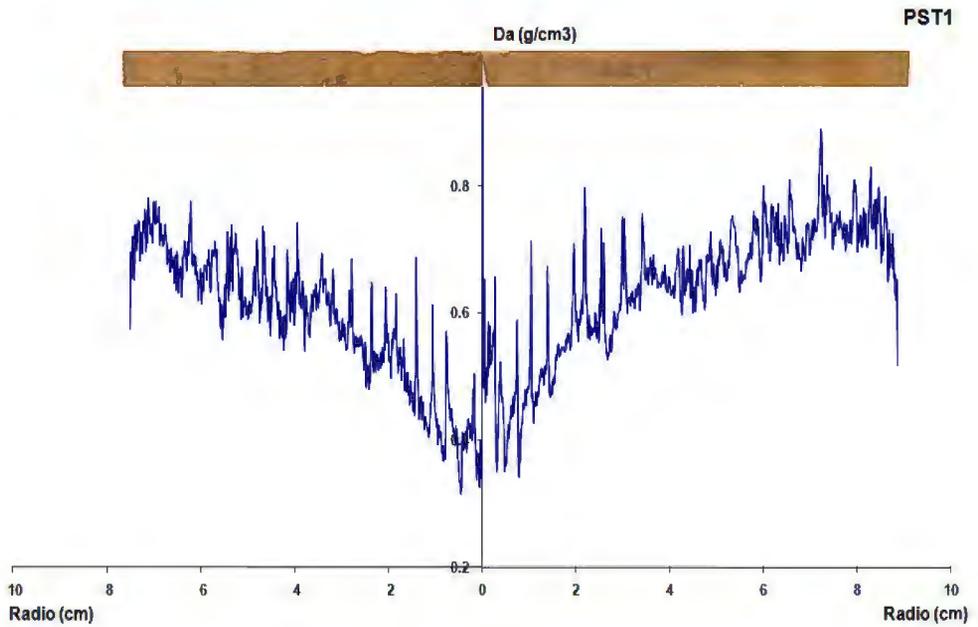
- ROSETO ALVARADO, J.; TOMAZELLO F°,M.; ZEVALLOS POLLITO, P.A.; LOBÃO, M.S. 2010. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Perú. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 171-179, jun.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. 1994 *Fisiología vegetal*. Nápoles: grupo editorial iberoamérica,. 159 p.
- SASS, J.E. 1951 *Botanical microtechnique*. 3rd ed. IOWA: State press,.. 228 p.
- SASS, U.; ECKSTEIN, D; KILLMAN, W. 1995 Periodicity of growth in a malaysian dipterocarp. IN: Workshop on dendrochronology in asia and the pacific region, , tsukuba. *Proceedings...* p. 75-94.
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1988 *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Dordrecht: d. Reidel,. 276 p
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 2008 *Datos meteorológicos de precipitación y temperatura total mensual (mm)*, Estación: Iñapari e Ibéria, departamento de madre de dios. Lima: SENAMHI, oficina general de estadística e informática,. 4 P.
- SCHMOLDT, D.L., ET AL. 1999. Assessing the effects of tire disturbance on ecosystems: a scientific agenda for research and management. USDA FOR. SERV. Gen. Tech. Report pnw-gtr-455.
- SCHWEINGRUBER, F. H., ECKSTEIN, D., SERRE-BACHET, F. & BRÄKER, O. U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years IN: *DENDROCHRONOLOGY*. *Dendrochronologia*, 8, 8.38.
- SHEPHERD, K.R. 1964. Some observations on the effect of drought on the growth of *pinus radiata* d. Don. *Aust. For.* 28:7-22
- SLUDER, E.R. 1972. Variation in wood specific gravity of yellow poplar in the southern appalachians. *Wood sci.* 5:132-138.
- STOKES, M.A., SMILEY, T.L., 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University. of Chicago Press, Chicago, ill.

- STOKES, MARVIN A., AND SMILEY, T.C. 1996. An introduction to tree-ring dating. Tucson: The University of Arizona Press.
- STUIVER, M.; REBELLOS, A. L.; WHITE, J. C.; BROECKER, W. Isotopic indicator of age/growth in tropical trees. IN: BORMANN, F. H.; BERLYN, G. (ED.) Age and growth in tropical trees: new directions for research. New haven: Yale University, School of Forestry and Environmental Studies 1981 137 p. (Yale University. School of Forestry and Environmental Studies. Bulletin, 94.)
- TARAZONA, W. E. ARNTZ Y E. CASTILLO DE MARUENDA (EDS). 2001. El niño en América Latina: 323. Impactos biológicos y sociales. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, pp. 323-330.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C. 2000 Potencialidade da família Meliaceae para estudos dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais IN: ROIG, F.A. (COMP.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo. P. 381-434.
- _____. 2001 Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores. IN: MAIA, N.; MARTOS, H.; BARRELLA, W. (ORG.). Indicadores ambientais conceitos e aplicações. São Paulo: Educ. P. 117-143.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIN, A.W. 2008 Application of x-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. Maderas: ciencia y tecnología, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-149.
- VERA, J. C. 1985. Impacto socio-económico de los fenómenos naturales 1982-1983 en Ecuador, Perú y Bolivia. In: Ciencia, tecnología y agresión ambiental: el fenómeno El Niño. CONCYTEC:643-670, Lima.
- VETTER, R.E. 1995. Untersuchungen über Zuwachsrhythmen an tropischen Bäumen in Amazonien. Universität Freiburg.
- VETTER, R.E. 2000 Growth periodicity and age for Amazonian tree species. Method for their determination. In: Roig, F.A. (comp.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, P. 135-155.

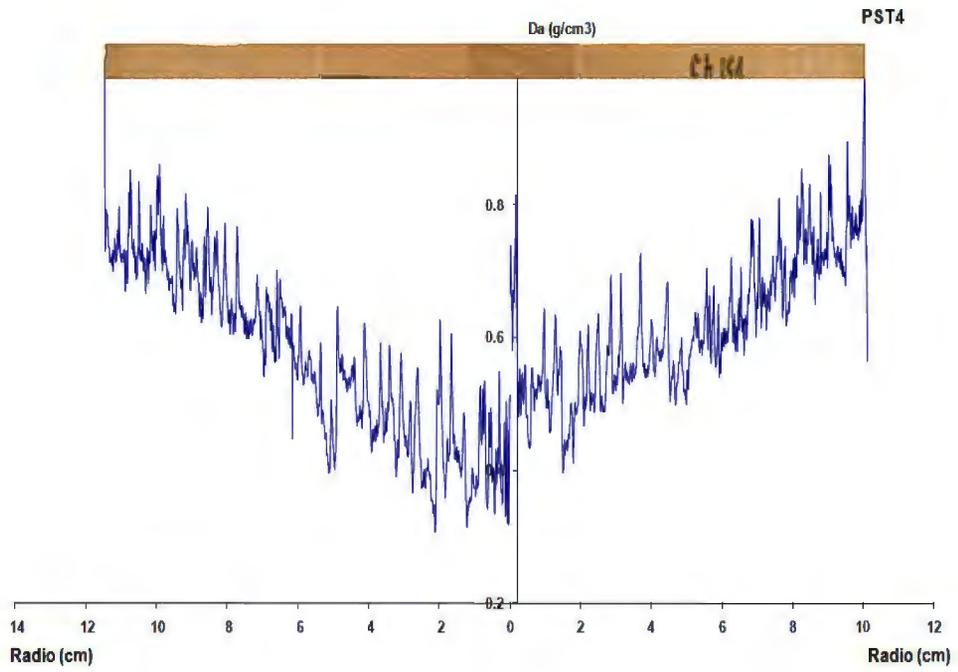
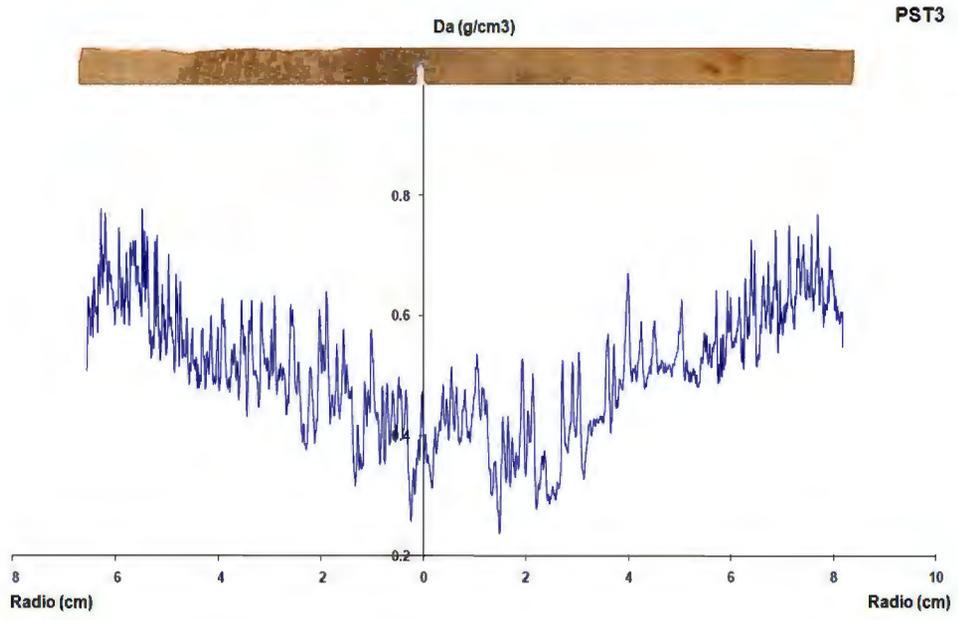
- VETTER, R.E.; BOTOSSO, P.C. 1989 Remarks on age and growth rate determination of amazonian trees. IAWA bulletin, national herbarium Nederland, Leiden, v. 10, n. 2, p. 133-145,.
- VILLALBA, R. AND BONINSEGNA, J.A. 1989 Dendrochronological studies on *prosopis flexuosa* dc. IAWA bulletin n.s. 10(2) 155-160
- WAREING, P.F. 1958 The physiology of cambial activity. Journal of institute of wood science 20: 34-42
- WASEL Y, NOAH I, FAHN A. 1966. Cambial activity in eucalyptus camaldulensis dehn. The production of phloem and xylem elements. The new phytologist 65: 319-324.
- WHITMORE, J. L. 1983. *Ochroma lagopus* (balsa). In Janzen d. H., ed. Costarican natural history. Chicago: University of Chicago, 281-82.
- WELLS, L. E., 1987. An alluvial record of el Niño events from northern coastal Perú. J. Geophys. Res. 92: 14, 463-14, 470.
- WELLS, L. E., 1990. Holocene history of the el Niño phenomenon as recorded in flood deposits of northern coastal Perú. Geology 18: 1134-1137.
- WOODMAN R, 2001 El fenómeno del niño y el clima en el Perú. Instituto geofísico del Perú
- WORBES, M.; JUNK, W. J. 1989 Dating tropical trees by means of C₁₄ from bomb tests. Ecology 70 (2) 503-507p
- WORBES, M. 1989 Growth ring, increment and ages of trees in inundation forests savannas and mountain forest in the neotropics. IAWA bulletin vol 10
- WORBES, M. 1995 How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. Iawa journal, national herbarium nederland, Leiden, v. 16, n. 4, p. 337-351,.
- _____. 2002 One hundred years of tree-ring research in the tropics- a brief history and an outlook to future challenges. Dendrochronologia, jena, v. 20, n. 1/2, p. 217-231,.
- WORBES, M.; STASCHEL, R.; ROLOFF, A.; JUNK, W.J. 2003 Tree ring analysis reveals structure dynamics and wood production of a natural forest stand in cameroon. Forest ecology and management, Amsterdam, v. 173, p. 105-123.

ANEXO 1

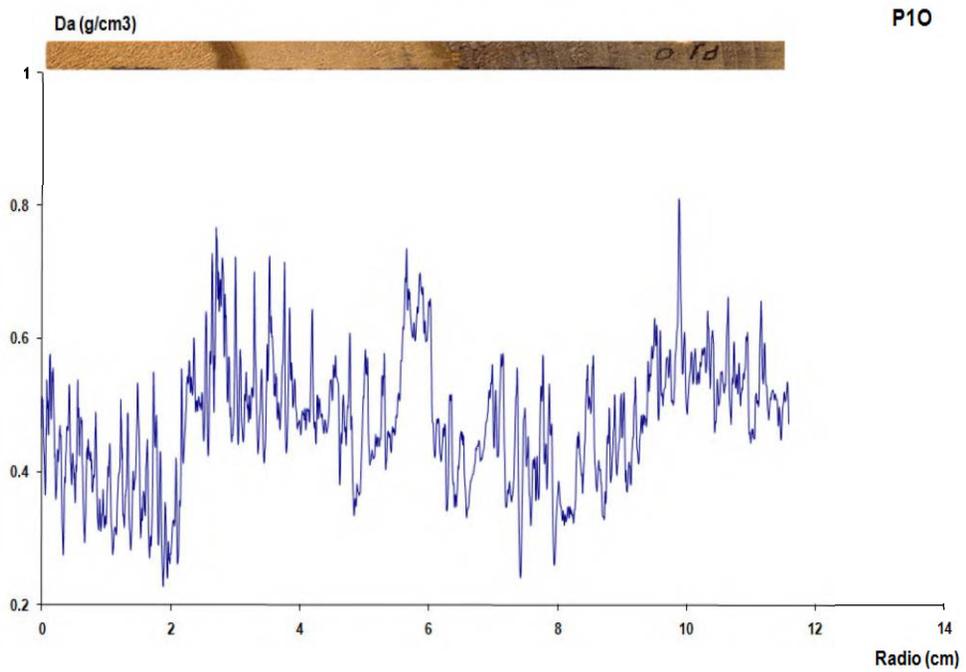
PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Bursera graveolens* CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE



PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Bursera graveolens* CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONTINÚA)

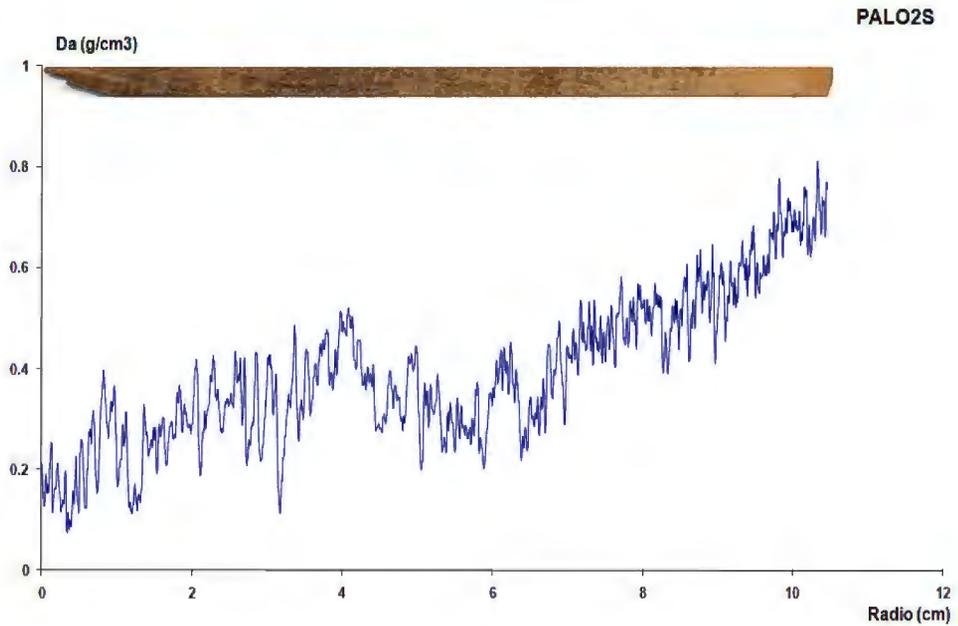


PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Bursera graveolens* CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONCLUSIÓN)

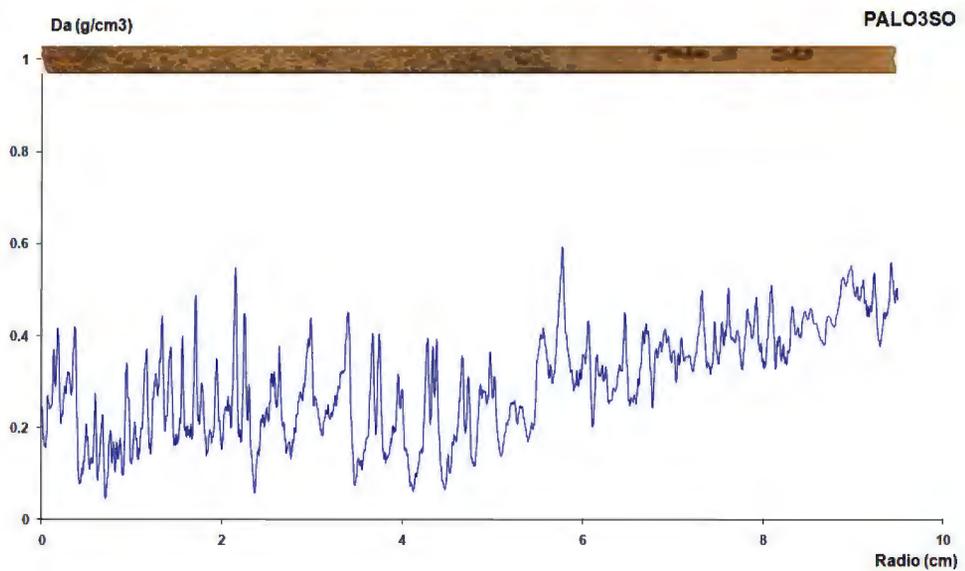


ANEXO 2

PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Bursera graveolens* CORRESPONDIENTES A MAYASCONG

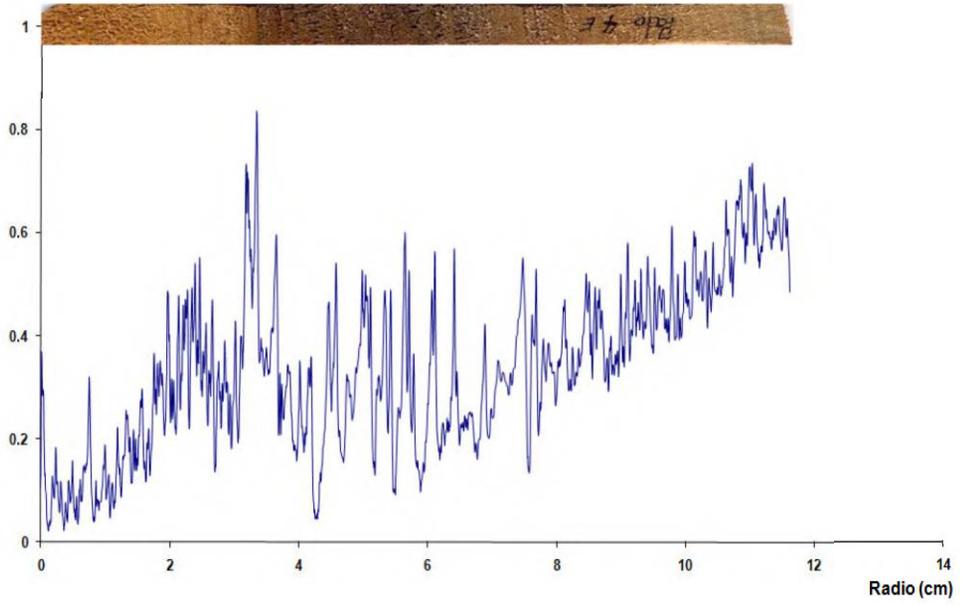


PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Bursera graveolens* CORRESPONDIENTES A MAYASCON (CONCLUSIÓN)



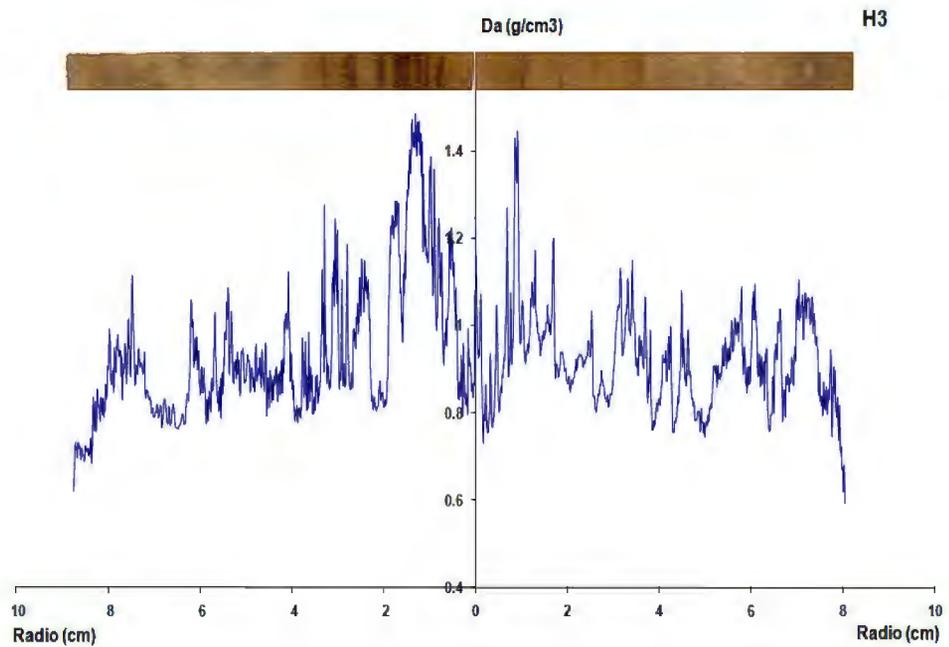
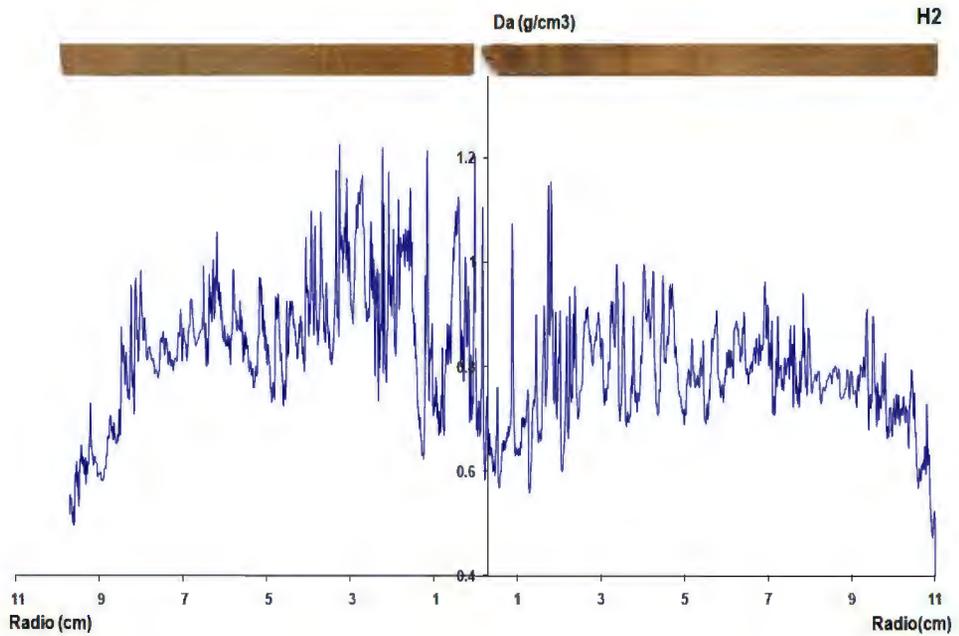
Da (g/cm3)

PALO4E

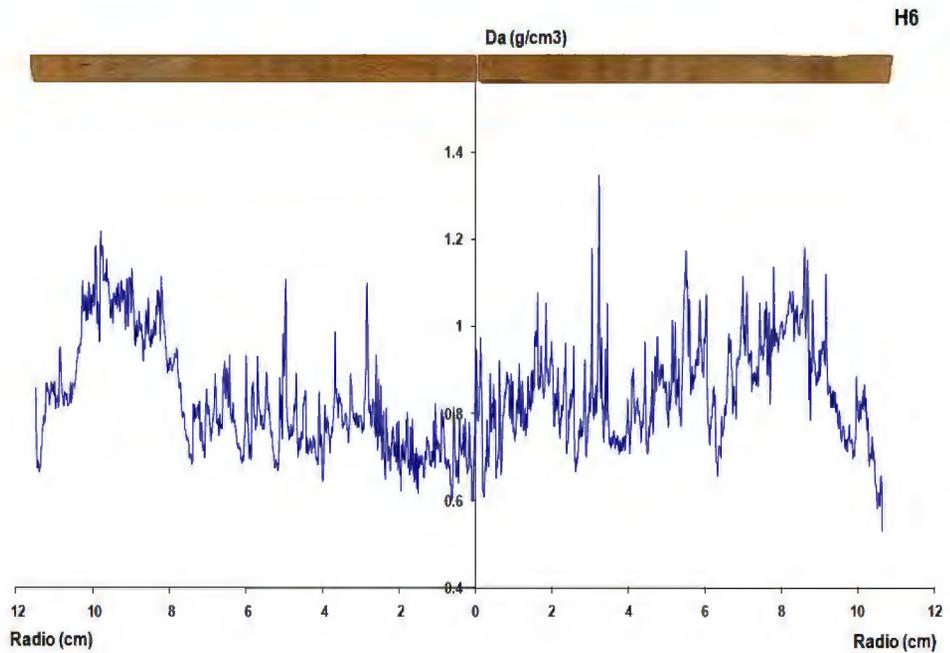
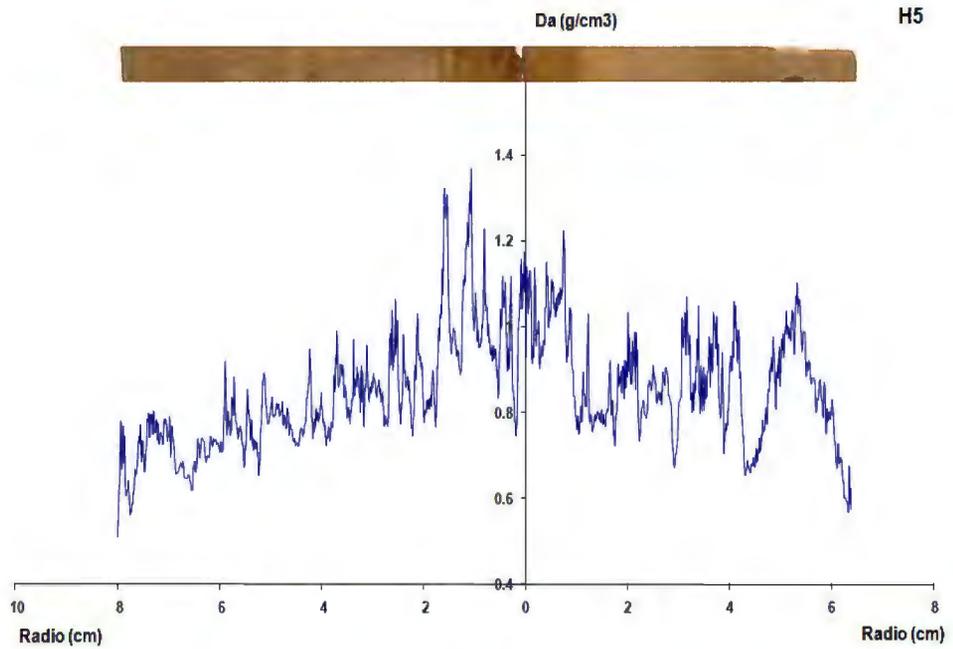


ANEXO 3

PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Loxopterigyum huasango* CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE

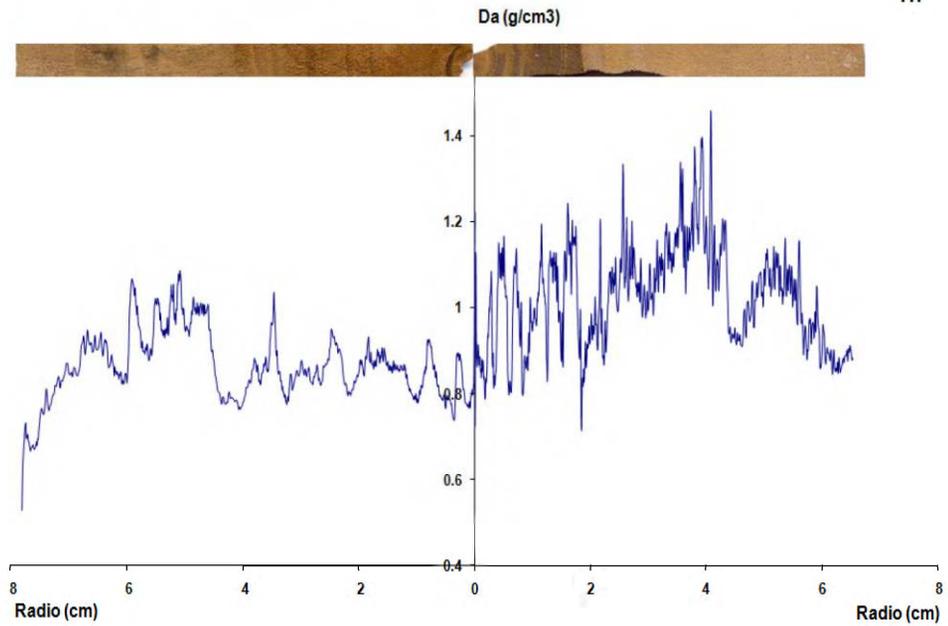


PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Loxopterigyum*
huasango CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONTINUACIÓN)



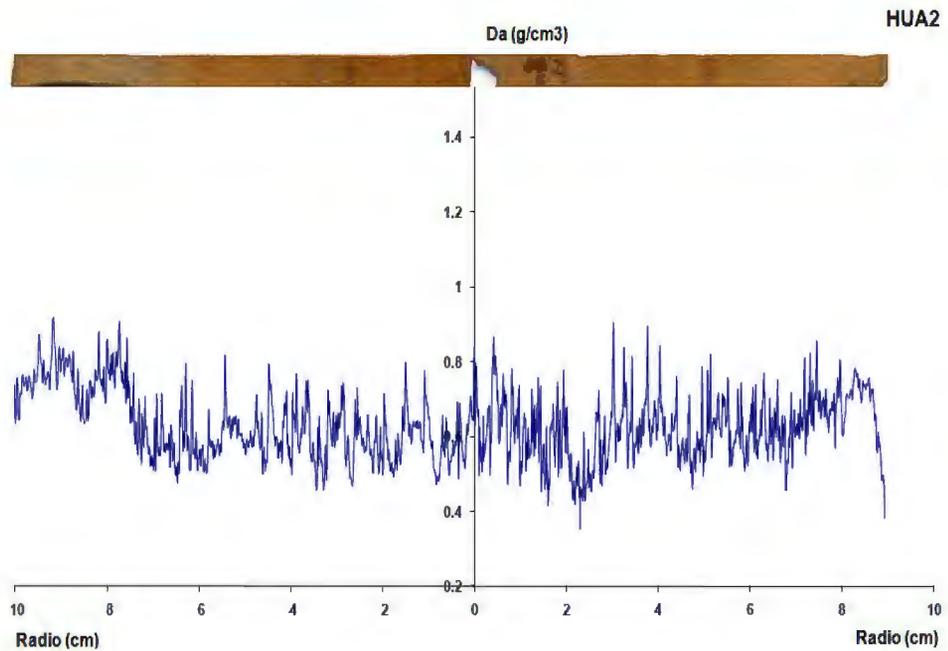
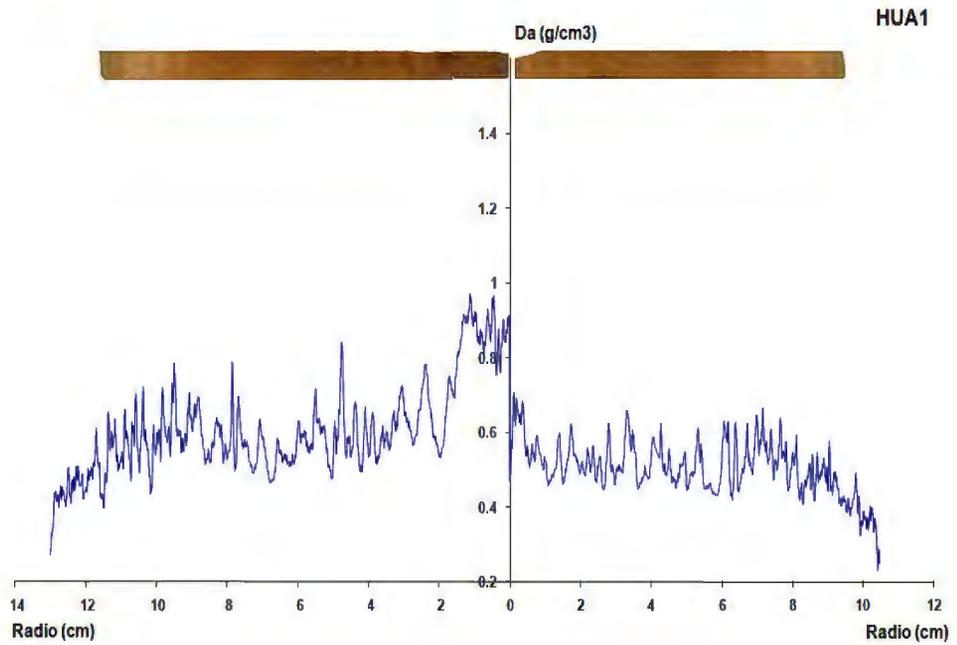
**PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *Loxopterigyum*
huasango CORRESPONDIENTES A TONGORRAPE (CONCLUSIÓN)**

H7



ANEXO 4

PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE *LOXOPTERIGYUM HUASANGO* CORRESPONDIENTES A MAYASCONG



**PERFILES DE DENSIDAD APARENTE DEL LEÑO DE LA ESPECIE
LOXOPTERIGYUM HUASANGO CORRESPONDIENTES A MAYASCONG
(CONCLUSIÓN)**

