

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA



ESCUELA DE POSTGRADO

ESPECIALIDAD EN BOSQUES Y GESTION DE RECURSOS
FORESTALES

Dendrocronología en árboles de Tornillo,
Cedrelinga cateniformis Ducke
(Fabaceae), del Centro de Investigaciones
Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia,
Región Loreto – Perú

Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae
Ing^o Luis Enrique Campos Zumaeta

Orientador: Mario Tomazello Filho

Lima- Perú

2009

Dedicado

A mis padres Luis Campos Baca (luchador en la vida) y
Lilia Zumaeta de Campos por enseñarme,
a ser humilde, a tener respeto por los demás y ser
valiente en momentos de retos

A Melina y Blas Cedric, mis amores,
compañeros incondicionales, amigos, por la
comprensión, admiración en esta etapa de mi vida

A mis hermanos Lilia y José por el amor y la amistad
que siempre tendremos

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Mario Tomazello Filho por haberme enseñado a crecer intelectualmente, como persona y depositar toda su confianza en mí.

A mis profesores, Fidel Candamo, Ruperto Quesada, María Manta, Víctor Barrera, Domínguez, Javier Arce, Felipe de Mendibure y en especial a Percy Amilcar Zevallos Pollito por haberme permitido viajar a Sao Paulo y aprender dendrocronología.

A mis profesores en los cursos de dendrocronología, Fidel Roig, Claudio Lisi, Paulo Botosso, Graciela Muniz, Joao Vicente la torraca, Julianno, David y José por los conocimientos y estímulos entregados en la realización de este trabajo.

Al personal del Proyecto de Ecosistemas Terrestres del IIAP, Dennis del Castillo, Federico Yopez, Euridice Honorio y Gaspar en Iquitos y en Lima a Fausto Hinostrosa y Víctor Estrada por el apoyo, sin la cual no hubiera sido posible la realización de esta investigación.

Al personal de Laboratorio de anatomía, identificação de madeiras e densitometría de raios X en la ESALQ – USP, Moises Silveira Lobão, Matheus Chagas, Maria Bermudes Aparecida, Martha, Victor Moutinho, Mauro, Israel, Guillermo, Alberto, Carlos Sette Junior, Jedi Alvarado, Boris Villa, Angel, Daniel, por convertirse en mi familia y ser grandes amigos durante las horas de trabajo.

A mis compañeros de maestría, Janette, Felipe, Adam, Patty Paredes, Benigno, David Llanos, Rudy Tapia, Alan Schipper, Greice, Roberto Colichon y Joel Peña por los momentos gratos y de discusión que vivimos en las aulas.

A mis profesores de pre-grado Waldemar Alegría, Ronald Burga, Heiter Walderrama, Nelida Barbagelata, Jorge Espiritu, Roberto Rojas, Rodill Tello y Rildo por darme la base de conocimientos tan solida que me permiten avanzar en la vida.

En general a todos los que contribuyeron indirectamente en la realización de este trabajo.

SUMARIO

RESUMEN	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS	11
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo general	13
1.1.2 Objetivo específicos	13
2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	15
2.1 Bosques Tropicales de la Amazonía Peruana	15
2.2 Dendrocronología	16
2.2.1 Principios de Dendrocronología	17
Principio uniformidad:	17
Principio de los factores limitantes:	17
Principio de amplitud ecológica:	18
Principio de crecimiento agregado	18
Principio del fechado cruzado (crossdating):	19
Principio de selección de sitio	19
Principio de replicación	19
Principio de sensibilidad	20
2.2.2 Dendrocronología y sus Aplicaciones	21
2.3 La especie <i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke, Fabacecae	23
2.3.1 Distribución de la especie	24
2.3.2 Fenología:	25
2.3.3 Plantación, crecimiento y cuidados:	25
2.3.4 Importancia de la especie:	26
2.4 Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (C.I.J.H.)	26
2.4.1 Bosques naturales del Centro de investigaciones Jenaro Herrera	26
2.4.2 Plantaciones forestales del Centro de Investigaciones Jenaro herrera	28
2.5 Dendrocronología en Bosques Tropicales:	29
2.6 Dendrocronología con árboles de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	31
2.7 Densitometría de rayos X en especies tropicales:	32
3 Materiales y Métodos:	34
3.1 Caracterización de los bosques en la Región Loreto:	34
3.2 Ubicación del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera – Loreto:	35
3.3 Clima	36
3.4 Fisiografía	37
3.5 Suelos	37

3.6	Demarcación, colecta, y extracción de las muestras de leño en árboles de <i>C. cateniformis</i>:	38
3.7	Caracterización anatómica en la estructura de los anillos de crecimiento y el leño de los árboles de <i>Cedrelinga cateniformis</i>:	40
3.7.1	Preparación de las muestras de leño para caracterizar los anillos de crecimiento	40
3.8	Preparación de las muestras de leño para la caracterización anatómica	40
3.8.1	Caracterización macroscópica	40
3.8.2	Caracterización microscópica	41
3.9	Análisis dendrocronológico de los anillos de crecimiento en árboles de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	43
3.9.1	Preparo de las muestra de leño	43
3.9.2	Medición y sincronización (co- datación) de los anillos de crecimiento.	43
3.9.3	Elaboración de la serie maestra en los anillos de crecimiento:	45
3.10	Variación radial de la densidad del leño en árboles de <i>Cedrelinga cateniformis</i> por densitometría de rayos X:	48
3.10.1	Preparación de las muestras de leño	48
3.10.2	Obtención de los filmes radiográficos	48
3.10.3	Análisis de los filmes radiográficos	49
3.10.4	Montaje del perfil radial de la densidad aparente del leño:	51
3.10.5	Parámetros de densidad aparente del leño:	51
3.10.6	Análisis de regresión y correlación de los parámetros del ancho de los anillos de crecimiento y densitometria por rayos X, en el leño de los árboles de <i>C. cateniformis</i>	51
4	RESULTADOS	52
4.1	Estructura anatómica del leño de <i>C. cateniformis</i>	52
4.1.1	Caracterización macroscópica del leño	52
4.1.2	Caracterización microscópica del leño	52
4.1.3	Caracterización de los anillos de crecimiento	54
4.1.4	Análisis estadístico en la estructura anatomía del leño	55
4.2	Aplicación de la dendrocronología en la tecnología de la madera	63
4.3	Demarcación y validación del ancho de los anillos de crecimiento por densitometría de rayos X	71
4.4	Análisis dendrocronologico en los anillos de crecimiento	75
4.4.1	Control de calidad de las series en anillos de crecimiento	75
4.4.2	Series cronológicas de anillos de crecimiento	81
4.5	Potencial de los árboles de <i>C. cateniformis</i> para estudios de dendroclimatología	86
5	CONCLUSIONES	96
6	RECOMENDACIONES:	98
7	BIBLIOGRAFIA:	99
8	ANEXO:	124

RESUMEN

En estas últimas décadas la dendrocronología ha permitido estudiar la relación entre la tasa de crecimiento de las especies forestales con la anatomía del árbol, la influencia de las variaciones climáticas y fenológicas. De esta manera en este trabajo fueron aplicadas las técnicas de dendrocronología en árboles de *Cedrelinga cateniformis* teniendo como objetivos principales (i) Caracterizar la estructura macro y microscópica en el leño de los anillos de crecimiento (ii) determinar las diferencias anatómicas entre la plantación y el bosque (iii) comprobar la anualidad en la formación de los anillos de crecimiento (iv) aplicación de los anillos de crecimiento en dendroclimatología (v) aplicación de la densitometría de rayos X en el estudio de leño y de los anillos de crecimiento. Para este estudio se colectó 35 árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 y del bosque localizados en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en la Región Loreto, Perú. Fue utilizado el barreno Pressler para extraer las muestras radiales del tronco. Se caracterizó la estructura anatómica del leño y de los anillos de crecimiento, determinándose la edad de los árboles y el ancho de los anillos, consecuentemente sincronizándolos con la utilización de los programas COFECHA, ARSTAN, RESPO, determinando la influencia de las variaciones climáticas en la formación del ancho del anillo. La determinación del límite en los anillos así como la variación radial fue realizada con la ayuda de la técnica de densitometría de rayos X, a través de los resultados obtenidos se constató que existían anillos de crecimiento distintos, individualizadas por zonas fibrosas transversales más oscuras precedidas por una disminución de la frecuencia de vasos, que posibilitaron determinar la edad de los árboles (12 – 83 años). La variable climática que más influencia en el incremento del tronco en los árboles es la precipitación, principalmente al principio de la estación de lluvias (Enero – Abril y Mayo) indicando el potencial de la especie para reconstrucciones climáticas. El análisis de los perfiles radiales por la técnica de densitometría permitió observar que existen diferencias significativas entre la densidad aparente de los árboles de la plantación y del bosque, presentando los del bosque una mayor densidad aparente ($0,70 \text{ g/cm}^3$), así como una estabilización en la densidad de los anillos de crecimiento a partir de los 33 años, relacionándose directamente con una menor frecuencia, porcentaje, y diámetros de los vasos y una mayor espesura de la pared en las fibras. El análisis de regresión en los anillos de crecimiento medidos en las mesa de medición Velmex y por densitometría de rayos X presentó un valor de $r^2 = 0,9561$ demostrando el potencial de esta técnica para el análisis de dendrocronología.

Palabras Claves: Anillos de crecimiento, *Cedrelinga cateniformis*, Dendrocronología, Dendroclimatología, Densitometría de rayos X.

RESUMO

Nas últimas décadas a dendrocronologia tem permitido estudar a relação entre a taxa de crescimento das espécies florestais com a anatomia da árvore, influência das variações climáticas e as fenológicas. Desta maneira neste trabalho foram aplicadas as técnicas de dendrocronologia nas arvores de *Cedrelinga cateniformis* tendo como objetivos principais (i) caracterizar a estrutura macro e microscópica do lenho dos anéis de crescimento (ii) determinar as diferenças anatômicas entre uma plantação e a floresta natural (iii) comprovar a anuidade na formação dos anéis de crescimento (iv) aplicação dos anéis de crescimento em dendroclimatologia (v) aplicação da densitometria de raio X no estudo do lenho e dos anéis de crescimento. Para este estudo coletaram-se 35 arvores de *C. cateniformis* da plantação 401-74 e da floresta natural localizada no Centro de Investigaciones Jenaro Herrera da Região Loreto, Perú. Foi utilizada a sonda de Pressler para extrair amostras radiais do tronco. Caracterizou-se a estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento, determinando-se a idade das arvores e a largura dos anéis, conseqüentemente sincronizando-os com a utilização dos programas COFECHA, ARSTAN e RESPO, determinando a influência das variações climáticas na formação da largura do anel. A delimitação dos anéis assim como a análise da variação radial foi realizada com a ajuda da técnica de densitometria de raio X. Através dos resultados obtidos constatou-se a presença de anéis de crescimento distintos, representados por zonas fibrosas transversais escuras precedidas por uma diminuição da freqüência de vasos que possibilitaram determinar idade das árvores (12-38 anos). A variável climática que mais influencia no incremento do tronco das arvores foi à precipitação pluviométrica, principalmente no início da estação de chuvas do ano corrente (Janeiro - Abri e Maio) indicando o potencial da espécie para reconstruções climáticas. A análise dos perfis radiais pela técnica de densitometria permitiu observar que existem diferenças significativas entre a densidade aparente das arvores da plantação com as da floresta apresentando esta última uma maior densidade aparente ($0,70 \text{ g.cm}^{-3}$), assim como uma estabilização na densidade dos anéis de crescimento a partir dos 33 anos, relacionando-se diretamente com uma menor freqüência, percentagem e diâmetros dos vasos e uma maior espessura da parede das fibras. A análise de regressão nos anéis de crescimento mensurados com mesa de medição Velmex e pela densitometria de raio X apresentou um valor de $r^2=0.9561$ demonstrando o potencial desta técnica para as análises dendrocronológicas.

Palavras Chave: Anéis de crescimento; *Cedrelinga cateniformis*; Dendrocronologia; Dendroclimatologia; Densitometria de raio X.

ABSTRACT

In the last decades, the dendrochronology has allowed study relationship between growth rate of forest species with tree's anatomy, climatic variations influence and phenology. Hereby, in this present work were applied dendrochronology techniques in *Cedrelinga cateniformis* trees with the principal aim (i) characterize the structure macro and microscopic in the wood of growth rings, (ii) determine the anatomical differences between plantation and natural forest (iii) verify the annuity of growth rings formation (iv) application of growth rings in dendroclimatology (v) application of X-ray densitometry in wood's study and growth rings. For this study were collected 35 *C. cateniformis* trees of plantation 401-74 and natural forest located at the Centro de Investigaciones Jenaro Herrera in the Region of Loreto, Peru. Increment borer (Pressler) was used to extract samples from the trunk. The anatomical structure of wood and growth rings were characterize determining the age of the trees and the width of the rings, consequently synchronizing them using the programs COFECHA, ARSTAN, RESPO, determining the influence of climatic variations in the formation width of the ring. The delimitation of growth rings and the analysis of radial variation was performed with the used of X-ray densitometry technique. The results obtained showed that there are growth rings distinct identified by fibrous darkest cross preceded by a decrease in the frequency of vessels, which allowed determining the age of trees (12 - 83 years). The climatic variable most influential in increasing the tree's trunk is the precipitation, mainly at the beginning of rainy season for the current year (January to April and May) indicating the potential of the specie to climatic reconstructions. The radial profiles's analysis by densitometry techniques showed significant differences between apparent density of plantation and natural forest having the latter a greater apparent density (0.70 g.cm³) as well as a standardization in the density of growth rings from the 33 years. Directly related to a lower frequency, percentage, and vessel diameters and a greater wall thickness of the fibers. Regression analysis in the growth rings measured by the table Velmex and X-ray densitometry presented value of $r^2 = 0.9561$ demonstrating the potential of this technique for dendrochronological analysis.

Key words: Growth rings; *Cedrelinga cateniformis*; Dendrochronology; Dendroclimatology; X - ray densitometry.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Esquema de aplicaciones de la Dendrocronología (Kaennel y Schweingruber, 1995)</i>	23
<i>Figura 2 Mapa de distribución de Cedrelinga cateniformis, basado en colecciones de herbario, que no representa la distribución exacta de la especie. (Davila et al., 2008)</i>	24
<i>Figura 3 Tasas de crecimiento en diámetro de Cedrelinga cateniformis, por diferentes clases diamétricas en base de mediciones de crecimiento de Parcelas Permanente de Muestreo (PPM, barras en negro) y en base de anillos de crecimiento (barras en gris). (Fuente Brienen, 2005)</i>	32
<i>Figura 4 Centro de Investigaciones Jenaro Herrera, Requena – Perú. Fuente: (Yepes, 2007). A- Ubicación de la Región Loreto. B- Mapa del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.</i>	35
<i>Figura 5 Climatograma de la estación meteorológica Jenaro Herrera en la Región Loreto.</i>	37
<i>Figura 6 Extracción de las muestras de leño en árboles de Cedrelinga cateniformis. (A) árbol de Cedrelinga cateniformis; (B) Introducción de la sonda en el interior del tronco a través del movimiento en el sentido horario; (C) y (D) extracción de las muestras; (E) Detalle de muestra extraída por la sonda Pressler.</i>	39
<i>Figura 7 Análisis anatómico macro y microscópico en el leño de Cedrelinga cateniformis. A- Pulimiento y aspecto de la sección transversal de las muestras de leño C, D- Montaje y corte de las secciones de leño en la navaja de micrótopo de deslice. E- láminas histológicas de Cedrelinga cateniformis F- Observación de la estructura microscópica de leño y medición de los elementos anatómicos en software digital.</i>	42
<i>Figura 8 Análisis de los anillos de crecimiento en árboles de Cedrelinga cateniformis . A-Colado de las muestras de leño en soportes de madera, con los elementos celulares en el sentido longitudinal. B- Muestras de leño coladas, identificadas para el análisis. C, D- Identificación, marcación y medición en el ancho de los anillos de crecimiento.</i>	44
<i>Figura 9 Metodología de rayos X y obtención de los perfiles radiales de densidad en el leño de Cedrelinga cateniformis. A- Corte de las muestras de leño en el equipamiento de dupla sierra. B- Sección transversal de las muestras de leño. C- Soporte de las muestras de leño y de la cuña de calibración sobre los films radiográficos. D-cámara de irradiación de las muestras de leño en el equipo de rayos X. E-Imagen radiográfica de las muestras de leño y de la cuña de calibración, análisis en los programas CRAD y CERD. F-Perfil radial de densidad aparente en las muestras de leño de Cedreling. cateniformis.</i>	50
<i>Figura 10 Anatomía microscópica de leño de Cedrelinga cateniformis. Plano (A) transversal (25x), B (100x), (C) tangencial (100x), (D) radial (100x), (E) longitud (25x) y (E) ancho de fibras (400x)</i>	53
<i>Figura 11 Anatomía macroscópica del leño de C. cateniformis.</i>	55
<i>Figura 12 Diferencia del ancho de los anillos de crecimiento de C. cateniformis. (A) árboles del bosque del C.I.J.H.; (B) árboles de la plantación 401-74</i>	55
<i>Figura 13 Dimensiones de los elementos del leño (medula, medula-corteza, corteza) de C. cateniformis en el bosque del C.I.J.H. (A) porcentaje de vasos; (B) longitud de las fibras; (C) diámetro de vasos; (D) espesura de la pared de las fibras; (E) frecuencia de vasos.</i>	60
<i>Figura 14 Dimensiones de los elementos del leño (medula, medula-corteza, corteza) de C. cateniformis de la plantación 401-74 del C.I.J.H. (A) porcentaje de vasos; (B) longitud de las fibras; (C) diámetro de vasos; (D) espesura de la pared de las fibras; (E) frecuencia de vasos.</i>	61
<i>Figura 15 Dimensiones de los elementos del leño (medula, medula-corteza, corteza) de C. cateniformis en el bosque y la plantación 401-74 del C.I.J.H. (A) porcentaje de vasos; (B) longitud de las fibras; (C) diámetro de vasos; (D) espesura de la pared de las fibras; (E) frecuencia de vasos.</i>	62

Figura 16 Perfil radial de densidad aparente del leño de árboles de <i>C. cateniformis</i> , con tendencia de crecimiento y diferenciación de duramen y albura. _____	65
Figura 17 Perfil radial de densidad aparente en el leño en árboles de <i>C. cateniformis</i> en el centro de la plantación 401-74 del C.I.J.H. _____	67
Figura 18 Perfil radial de densidad aparente en el leño en árboles de <i>C. cateniformis</i> entre el borde-centro de la plantación 401-74 del C.I.J.H. _____	68
Figura 19 Perfil radial de densidad aparente en el leño en árboles de <i>C. cateniformis</i> en el borde de la plantación 401-74 del C.I.J.H. _____	69
Figura 20 Perfil radial de densidad aparente en el leño en árboles de <i>C. cateniformis</i> en el bosque del C.I.J.H. _____	70
Figura 21 Medias en la densidad aparente del leño en árboles de <i>C. cateniformis</i> _____	71
Figura 22 Demarcación en el límite de los anillos de crecimiento en árboles de <i>C. cateniformis</i> en el perfil densitométrico. _____	74
Figura 23 Perfil radial de densidad aparente de los anillos de crecimiento en el leño de 5 árboles de <i>C. cateniformis</i> en árboles del bosque de C.I.J.H. _____	74
Figura 24 radial de densidad aparente de los anillos de crecimiento en el leño de 5 árboles de <i>C. cateniformis</i> de la plantación 401-74 del C.I.J.H. _____	75
Figura 25 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa COFECHA y número de muestras utilizadas en el análisis del bosque en el C.I.J.H. (inferior) _____	78
Figura 26 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa COFECHA y número de muestras utilizadas en el análisis de la plantación 401-74. (Inferior). _____	80
Figura 27 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa ARSTAN y número de muestras utilizadas en el análisis de la plantación 401-74. (Inferior) _____	83
Figura 28 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa ARSTAN y número de muestras utilizadas en el análisis del bosque en el C.I.J.H. (inferior) _____	84
Figura 29 Comparación de las cronologías maestras a partir del ancho en los anillos de crecimiento para árboles de <i>C. cateniformis</i> entre la plantación 401-74 y el bosque del C.I.J.H. _____	85
Figura 30 Correlación entre la cronología maestra de árboles de <i>C. cateniformis</i> en el bosque del C.I.J.H. con la precipitación media de la estación meteorológica Jenaro Herrera _____	91
Figura 31 Correlación entre la cronología maestra de árboles de <i>C. cateniformis</i> en la plantación 401-74 del C.I.J.H. con la precipitación media de la estación meteorológica Jenaro Herrera _____	91
Figura 32 Correlación entre la cronología maestra de árboles de <i>C. cateniformis</i> en el bosque del C.I.J.H. con la temperatura media anual en la estación meteorológica Jenaro Herrera. _____	92
Figura 33 Correlación entre la cronología maestra de árboles de <i>C. cateniformis</i> en la plantación 401-74 del C.I.J.H. con la temperatura media anual de la estación meteorológica Jenaro Herrera. _____	92
Figura 34 Correlación entre índices en los anillos de crecimiento con la variables climáticas mensuales, para la plantación 401 – 74 y el bosque del C.I.J.H. _____	94
Figura 35 Estandarización de la precipitación y temperatura media anual y su comparación con las series maestras con árboles de <i>C. cateniformis</i> en la plantación 401-74 y el bosque en el C.I.J.H. _____	95

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Tipos de bosques de la Región Loreto.....</i>	34
<i>Tabla 2 Densidad aparente del leño de árboles de C. cateniformis del bosque en el C.I.J.H.....</i>	65
<i>Tabla 3 D.A.P., edad, densidad aparente en el leño de árboles de C. cateniformis del bosque en el C.I.J.H.....</i>	66
<i>Tabla 4 Densidad aparente del leño de árboles de C. cateniformis de la plantación 401-74 del C.I.J.H.....</i>	66
<i>Tabla 5 Control de calidad de las series ejecutadas por el programa COFECHA.....</i>	77
<i>Tabla 6 Inter-correlaciones de las series cronológicas a partir del ancho de los anillos de crecimiento de los árboles de C. cateniformis en el bosque del C.I.J.H.....</i>	77
<i>Tabla 7 Inter-correlaciones de las series cronológicas a partir del ancho en los anillos de crecimiento para árboles de C. cateniformis en la plantación 401-74 del C.I.J.H.....</i>	79
<i>Tabla 8 Inter-correlaciones de las series cronológicas a partir del ancho en los anillos de crecimiento para árboles de C. cateniformis en la plantación 401-74 y el bosque del C.I.J.H.....</i>	85
<i>Tabla 9 Coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre índices con el ancho de los anillos de crecimiento de la plantación 401-74 (cronología maestra), valores mensuales de precipitación (PPT media mm) y temperaturas medias (T medias °C).....</i>	93
Tabla 10 <i>Coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre índices con el ancho de los anillos de crecimiento de la plantación 401-74 (cronología maestra), valores mensuales de precipitación (PPT media mm) y temperaturas medias (T medias °C).....</i>	93
<i>Tabla 11 Análisis estadístico de los elementos anatómicos en árboles de Cedrelinga cateniformis de la Plantación 401-74 del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.....</i>	124
<i>Tabla 12 Análisis estadístico de los elementos anatómicos en árboles de Cedrelinga cateniformis del Bosque en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.....</i>	125
<i>Tabla 13 Análisis estadístico de los elementos anatómicos en árboles de Cedrelinga cateniformis de la Plantación 401-74 y del Bosque en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.....</i>	126
<i>Tabla 14 Datos de Precipitación de la estación meteorológica de Jenaro Herrera para el período de 1979 – 2007.....</i>	126
<i>Tabla 15 Datos de Temperatura de la estación meteorológica de Jenaro Herrera para el período de 1979 – 2007.....</i>	127
<i>Tabla 16 Árboles de Cedrelinga cateniformis, muestreados en el Bosque del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.....</i>	128
<i>Tabla 17 Árboles de Cedrelinga cateniformis, muestreados en la Plantación 401-74 del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.....</i>	129

1 INTRODUCCIÓN

Los bosques naturales de la Amazonia peruana y de la región Loreto están constituidos por una biodiversidad altamente influenciada por las condiciones climáticas, competencia inter específica, etc. (Mejia 1995; Kalliola et al. 1993; Lamprecht 1990). Esa biodiversidad prioriza la idea de realizar estudios que permitan tener un mejor entendimiento de los árboles de las especies tropicales, así como el desarrollo de diversos ecosistemas, recurriendo al auxilio de otras ciencias así como el uso de nuevas técnicas.

La dendrocronología es una ciencia altamente utilizada en la datación de los árboles (Schweingruber, 1988) y estudios entre el ancho de los anillos de crecimiento y las variables climáticas (Fritts et al., 1963).

En estas últimas décadas se ha demostrado el potencial de los anillos de crecimiento para determinar la edad en árboles tropicales (Ecksteins et al., 1981, Worbes 1985; Worbes, 1989; Vetter & Botosso 1989; Vetter 2000; Worbes 1995; Brienem & Zuidemman 2003, Tomazello Filho et al., 2001), así como su aplicación para el manejo de los bosques (Brienem & Zuidemman 2003; Worbes et al. 2003; Brienem 2005).

Existe una serie de técnicas que han permitido el desarrollo de la dendrocronología como el uso de fajas dendrométricas (Détienne 1976; Détienne & Mariaux 1977; Vetter & Botosso 1989; Worbes 1989; Détienne 1989; Worbes 1995; Tomazello Filho & Cardoso 1999; Botosso & Tomazello Filho 2001), marcación cambial (Mariaux 1967; Mariaux 1969; Worbes 1995; Rosero 2009), densitometría de rayos X (Vetter & Botosso 1989; Borges 1992; Amaral 1994; Worbes et al., 1995; Gourlay 1995; Moya 2005; Tomazello Filho, 2006).

En el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera ha sido desarrollado diversos estudios, que son de aporte importante para el entendimiento de los bosques tropicales. En la actualidad se convierte en un área de investigación con las

condiciones necesarias para lo desarrollo de los estudios dendrocronológicos utilizando las diversas especies forestales de población natural y de plantaciones. Los árboles de la especie *Cedrelinga cateniformis*, con plantaciones forestales de 1969, de rápido crecimiento y con buenos resultados silviculturales son potenciales para la dendrocronología. En la Amazonia de Brasil, Botosso (1989) identificó esta especie como potencial y recientemente, en la Amazonia boliviana Brienem (2005) realizó estudios dendrocronológicos con árboles de *C. cateniformis* con resultados que correlacionan positivamente las evaluaciones llevadas en parcelas permanentes y la influencia en el crecimiento del tronco, con las condiciones climáticas de la zona. Estas informaciones de la literatura son favorables para el desarrollo de investigaciones aplicando los anillos de crecimiento de los árboles de especies tropicales, con énfasis a *Cedrelinga cateniformis* y con posibilidad de evaluar la respuesta del crecimiento a las variaciones climáticas, así como determinar señales comunes al crecimiento en condiciones diferentes y, además, comparar la calidad de la madera en ambas localidades, bajo diferentes edades, con el uso de la técnica de la densitometría de rayos X.

1.1 **Objetivos**

1.1.1 **Objetivo general**

Caracterizar y analizar el leño y los anillos de crecimiento de los árboles de *C. cateniformis*, en la plantación 401-74 y del bosque en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (C.I.J.H.) en la Región Loreto, con la finalidad de determinar el potencial en dendrocronología, dendroclimatología y para la validación de la calidad del leño por la técnica de densitometría de rayos X.

1.1.2 **Objetivo específicos**

- Caracterizar la estructura macro y microscópica en el leño de los anillos de crecimiento del leño en árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 y el Bosque del C.I.J.H.

- Determinar diferencias entre la estructura anatómica en árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 y el bosque del C.I.J.H.
- Comprobar la anualidad en la formación de los anillos de crecimiento y determinar la edad de los árboles de *C. cateniformis*, en el Bosque del C.I.J.H.
- Aplicar el ancho de los anillos de crecimiento de los árboles de *C. cateniformis*, en el análisis de los parámetros meteorológicos en el crecimiento (dendroclimatología).
- Aplicar la técnica de densitometría de rayos X en el estudio del leño y de los anillos de crecimiento de los árboles de *C. cateniformis*.

2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 Bosques Tropicales de la Amazonía Peruana

Mejia (1995) sustenta que la Amazonía peruana alberga en su territorio una enorme riqueza de ecosistemas, especies y genes, siendo sus bosques los más ricos en diversidad de especies que cualquier otro bosque tropical del planeta.

Existen varios trabajos a nivel de América Tropical, con el fin de clasificar la vegetación, la mayoría basados en consideraciones bioclimáticas, como los de Beard (1944), Tosi (1960), Hueck (1966), Holdrige (1967), Holdrige et al (1971), ONERN (1976), Braga (1979), Hueck y Siebert (1981), Pires y Prance (1985), Guillaumet (1987) y Prance (1989). En el Perú, el criterio para la clasificación de los bosques ha sido con fines de identificación de potencial maderero, de acuerdo con Malleaux (1971, 1975, 1982), Encarnación (1985) y Kalliola (1987, 1988, 1991), que tipifican las formaciones vegetales en base a factores ecológicos, geomorfológicos y de la dinámica fluvial, La clasificación de Encarnación (1993) es de importancia práctica y ecológica, utiliza la terminología vernácula y se basa en un conocimiento profundo de la vegetación.

Kember (1995) sostiene que diversos estudios demuestran que los bosques de la Amazonía Peruana son los ecosistemas más ricos en diversidad de especies de todo el planeta. Inventarios florísticos en tres reservas forestales cerca de Iquitos, en la baja Amazonía reportan 2,748 especies, 876 géneros y 165 familias, incluidas las Pteridophytas. Las familias más diversificadas en estas reservas son Fabaceae, Rubiaceae y Annonaceae; otras familias importantes son Lauraceae y Moraceae. Entre las monocotiledoneas, Araceae y Arecaceae son las familias más diversas (Vásquez & Pipoly III, comunicación personal).

La reserva forestal de Tambopata en Madre de Dios tiene más de 1,000 especies de plantas, con las das familias Fabaceae, Rubiaceae y Moraceae con el mayor número de especies. Otras especies amazónicas incluyen Annonaceae, Lauraceae, Melastomataceae y Euphorbiaceae (Gentry y Ortiz, 1993). Orchidaceae y Acanthaceae se encuentran, también, entre las familias más ricas en la Amazonía Sur del Perú (Foster, 1990). La vegetación de la zona alta del

Parque Nacional del río Abiseo en San Martín incluye 1,000 especies de las cuales 779 son angiospermas, 2 gimnospermas, 159 pteridophytos y 60 criptógamas no vasculares.

El récord mundial de diversidad local, ampliamente citado, es el de Yanamono de la Reserva Turística Explorama, cerca de Iquitos. En 1,0 ha, de este bosque se inventariaron 300 especies diferentes y 600 plantas individuales, con DAP mayores a 10 cm. La segunda parcela más rica en diversidad de especies en el mundo está ubicada en Mishana, río Nanay, con 289 especies. Toda esta biodiversidad permite tener un enorme potencial para estudios dendrocronológicos debido a la alta diversidad de ecosistemas y la variedad de especies interactuando con diversos factores ambientales. Vale destacar que actualmente, la amazonia peruana es una de las regiones del planeta más ricas en diversidad biológica, es necesario enfatizar que esta región permanece aún poco conocida florísticamente (Gentry, 1988).

2.2 Dendrocronología

Según Tomazello Filho et al., 2001 la palabra dendrocronología proviene del griego *dendros* que significa árbol, *chronos* tiempo y *logos* ciencia o conocimiento. Etimológicamente, es la ciencia de datar o fechar (determinar la edad) los árboles. En una definición estricta, es la ciencia de la datación de maderas utilizando sus anillos anuales y en una definición amplia, es la ciencia que fecha los anillos anuales de crecimiento de los árboles, analizando su estructura e investigando la información registrada en ella para aplicaciones a cuestiones ambientales e históricas.

Grissino-Mayer (1996) sostiene que la dendrocronología consiste en el fechado de eventos pasados a través del estudio de los anillos de crecimiento. Las variables de los anillos de crecimiento, por ejemplo proporción de madera temprana y tardía, pueden ser medidas y registradas como series en el tiempo. Aunque el patrón de crecimiento en los árboles puede estar afectado por factores exógenos y endógenos, la variabilidad climática deja huellas distintivas en las

serie de anillos de crecimiento de los árboles (Sander, 1998 citado por León y Espinoza de Pernia, 2001; Tomazello Filho et al., 2001).

2.2.1. Principios de Dendrocronología

Tomazello Filho et al., 2001 como cualquier otra ciencia, la Dendrocronología se rige por un conjunto de principios o reglas científicas, las cuales tienen sus raíces en el año 1785 (Principio de uniformidad), y más recientemente en el año 1987 (Principio de la agregación de los factores ambientales). Algunos de estos principios se aplican específicamente para estudios dendrocronológicos, mientras que otros son comunes a muchas disciplinas (Grissino – Mayer, 1996; Tomazello Filho et al., 2001), Asimismo (León y Espinoza de Pernia 2001; Tomazello Filho et al., 2001) describen los principios de la siguiente forma:

Principio uniformidad: este principio indica que los procesos físicos y biológicos que influyen en el crecimiento de un árbol en la actualidad, también estuvieron presentes en el pasado (McCarthy, 1998). Este principio fue establecido por James Hutton en 1875, quien lo indica de la manera siguiente: “*el presente es la clave del pasado*”. Sin embargo los dendrocronologistas lo han ampliado al indicar que “*el pasado es la clave del futuro*”. En otras palabras, al conocer las condiciones climáticas imperantes en el pasado, mediante el estudio de los anillos de crecimiento, se pueden predecir y/o manejar las condiciones ambientales en el futuro (Grissino-Mayer, 1997). El principio de uniformidad no quiere decir que las condiciones del pasado son exactamente iguales a las del presente, sino que similares clases de influencias afectan similares tipos de procesos (Grissino-Mayer, 1996).

Principio de los factores limitantes: de acuerdo a este principio, el proceso de crecimiento de la planta puede ocurrir sólo tan rápido como lo permita el factor que actúa como principal limitante. Por ejemplo si la lluvia es el mayor limitante del crecimiento, la cantidad de madera producida por un árbol en un año determinado,

reflejará la cantidad de precipitación de ese año (Grissino-Mayer, 1996). Cuando las condiciones son limitantes, muchos factores relacionados con el proceso de crecimiento son limitados, produciéndose menor cantidad de células, anillos estrechos y las características de las células y densidad de la madera varían en función de que factor actúa como limitante (Fritts, 1996). Vale destacar que en América del Sur, este factor limitante es la precipitación y que pueden existir otros factores predominantes dependiendo de la zona, por ejemplo en Alaska, es la temperatura y en Perú el factor limitante sería la lluvia (Rodríguez, 2008).

Principio de amplitud ecológica: este principio señala que las especies pueden crecer, reproducirse y propagarse a través de un rango de hábitat que puede ser amplio, estrecho o restringido (Grissino-Mayer, 1996). La importancia de este principio se manifiesta porque muchas de las especies útiles en estudio de dendrocronología, a menudo, se encuentran cerca de los límites de su rango natural de desarrollo (McCarthy, 1998; Grissino-Mayer, 1997).

Principio de crecimiento agregado: cualquier serie individual de crecimiento en un árbol puede ser “descompuesta” en un conjunto de factores agregados que afectan el patrón de crecimiento del árbol a través del tiempo. Por ejemplo: el crecimiento que se produce en un año es una función de una serie de factores agregados tales como edad, clima, ocurrencia de eventos dentro (por ejemplo, la caída de un árbol) y fuera (por ejemplo, defoliación causada por insectos) del bosque. Para maximizar la influencia de un factor ambiental en particular, los otros factores deben ser minimizados. Por ejemplo, la maximizar la señal correspondiente al clima, se debe eliminar la tendencia relacionada con la edad y los árboles y sitios seleccionados deben minimizar la posibilidad de acción de la presencia de factores externos o internos que puedan afectar el crecimiento (Grissino-Mayer, 1996; McCarthy, 1998). Este principio puede ser expresado, de forma matemática, con la siguiente ecuación (McCarthy, 1998):

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

Esta ecuación expresa que cualquier anillo de crecimiento (R) formado en un determinado año (t) es una función de la tendencia de crecimiento relacionada con la edad (A), condiciones climáticas (C), factores internos del bosque que puedan afectar el crecimiento (D1), factores externos del bosque que puedan afectar el crecimiento (D2) y la acción de cualquier otro factor aleatorio (E) que no sea tomado en consideración por los anteriores.

Principio del fechado cruzado (crossdating): es el principio básico de la dendrocronología y consiste en asignar a cada anillo el año exacto de su formación (Martínez, 1996) mediante un proceso de “superposición” de la variación del ancho y otras características estructurales de los anillos de crecimiento (Kham, 1997). El crossdating se puede hacer mediante la aplicación de diversos métodos (McCarthy, 1998), sendo (i) método clásico, directamente de la madera, (ii) gráfico, de ploteo, (iii) de lista o tabulado, (iv) crossdating mediante la medición del ancho de los anillos, (v) de computadoras y (vi) estadísticos.

Principio de selección de sitio: los sitios útiles para la dendrocronología pueden ser identificados y seleccionados con base a criterios que indiquen que se producirán series de anillos sensibles a las variables ambientales que están siendo examinando. El dendrocronologista debe seleccionar sitios que maximizaran la señal que está siendo investigada (McCarthy, 1998). Se deben identificar y seleccionar un área ecológicamente homogénea donde se tomaran las muestras de los árboles para estudios dendrocronológicos (Kaennel y Schweingruber, 1995).

Principio de replicación: este principio indica que se debe tomar más de una muestra del radio del tallo por árbol y más de un árbol por sitio. Esto permite realizar comparaciones estadísticas de variabilidad entre árboles y entre grupos de árboles. Las mediciones de esta variación proporcionan información valiosa

sobre como los factores del sitio y clima controlan el crecimiento del árbol (Fritts, 1976). Al tomar más de una serie de anillos por árbol se reduce más la tasa de variación dentro de un mismo árbol (Grissino-Mayer, 1996; McCarthy, 1998).

Principio de sensibilidad: la observación de los anillos de crecimiento puede ser una guía de cómo los factores ambientales se pueden convertir en un factor limitante del proceso de crecimiento. Mientras mayor sea la limitación al crecimiento ocasionada por factores ambientales, mayor será la variación del ancho de los anillos de crecimiento dentro de un mismo árbol. La variación del ancho de los anillos como consecuencia de la presencia de un factor limitante recibe el nombre de *sensibilidad*, mientras que la carencia de variación recibe el nombre de *complacencia* (Fritts, 1976). Los árboles muestran anillos “sensibles” cuando su crecimiento es afectado por factores tales como pendiente, suelos pobres, poca humedad. La presencia de anillos “complacientes” se produce bajo la acción de condiciones climáticas constantes tales como la alta disponibilidad de agua, suelos fértiles o crecimiento en regiones protegidas (McCarthy, 1998). En otras palabras el crecimiento del árbol es descrito como “sensible” cuando existe un alto grado de variación anual, produciéndose una mezcla de anillos anchos y estrechos a través del tiempo. Por otra parte, el crecimiento del árbol se considera “complaciente”, cuando no exhibe un alto grado de variación anual, es decir, existe poca variación del ancho de los anillos de crecimiento a través del tiempo. En los estudios de dendrocronología se prefieren los patrones de crecimiento en donde exista sensibilidad ya que el proceso de crossdating se facilita más mientras mayor sea la variación en el ancho de los anillos (Martínez, 1996).

Finalmente (León y Espinoza de Pernia 2001 y Tomazello Filho et al., 2001) sostienen que además de los principios descritos la Dendrocronología utilizan un procedimiento de estandarización el cual, algunas veces es considerado como un principio. El ancho de los anillos de crecimiento puede variar no solo como consecuencia de cambios climáticos, sino que también se pueden producir variaciones como consecuencia de la edad del árbol, altura del tallo donde se

toma la muestra, condiciones y productividad del sitio. En los estudios de variación del estudio del ancho de los anillos de crecimiento en relación a cambios climáticos, es conveniente estimar la tasa de cambios sistemáticos de anchos de anillos asociados con la edad, para así “removerlos” de las mediciones.

Esta corrección del ancho del anillo con relación a la edad y geometría del árbol es conocida con el nombre de estandarización y los valores transformados reciben el nombre de *índice de ancho del anillo* (Fritts, 1976). La estandarización consiste en la extracción de las variaciones de largo periodo en una serie temporal de parámetros medidos en los anillos de crecimiento. El proceso consiste en dividir los valores observados (medidas de los anillos) por los valores estimados por la función de estandarización ajustada; de esta manera, una serie temporal del grosor de los anillos es convertida en una serie de índices del grosor de los mismos (Kaennel y Schweingruber, 1995)

2.2.2. **Dendrocronología y sus Aplicaciones**

Basándose en el conocimiento de la estructura anatómica de las especie en estudio, (Figura 1), como primer paso para comenzar un estudio dendrocronológico, el cual nos puede dar una serie de informaciones como diferencias microscópicas de la madera en diferentes ecosistemas. Existe una serie de métodos para realizar investigaciones en dendrocronología cuyos parámetros mensurables útiles son el ancho de los anillos, la densidad de la madera y la concentración isotópica en la madera.

Dependiendo de los objetivos de las investigaciones existen una serie de aplicaciones como dendroglaciología, dendropirocronología, dendroarqueología, dendrogeomorfología, dendrohidrología, dendroclimatología que es uno de las aplicaciones más utilizadas (León y Espinoza de Pernia 2001 y Tomazello Filho et al., 2001) la define como el uso de los anillos de crecimiento para estudiar y reconstruir el clima de tiempos pasados (Grissino-Mayer, 1997). En general la dendroclimatología se encarga de estudiar las relaciones que existen entre el clima y los parámetros de crecimiento de los árboles para hacer una

reconstrucción de climas pasados. Mediante la comparación estadística de la cronología obtenida a través de una serie de anillos con los datos climáticos modernos, se pueden desarrollar ecuaciones las cuales pueden ser utilizadas en conjunto con los datos proporcionados por los anillos de crecimiento para construir climas pasados (Briffa, 1997).

Los anillos de crecimiento tienen características que los hacen una fuente valiosa de diversas investigaciones. Entre estas tenemos el hecho que el ancho de los anillos puede ser medido fácilmente para una secuencia continua de años y estas medidas pueden ser calibradas con datos climáticos. Adicionalmente, a los anillos se les puede asignar el año exacto de su formación de manera tal que la información climática puede ser ubicada, de forma precisa, en el tiempo (Fritts, 1976). En este tipo de estudios se pueden establecer redes dendroclimatológicas, es decir, un conjunto de lugares de muestreo distribuidos uniformemente o no, en un área. El área puede ser una región pequeña, un continente o varios. En cada lugar de muestreo se lleva a cabo la colección de muestras para su análisis y reconstrucción climática (Kaennel y Schweingruber, 1995). También existe otro campo que es la dendroecología: es uno de los sub campos de mayor complejidad en la dendrocronología el cual abarca las otras áreas de estudio de la dendrocronología para resolver problemas ecológicos y del ambiente. Requiere utilizar información de dendroclimatología, dendrohidrología, dendrogeomorfología, etc. (McCarthy, 1998), es decir, que involucra todas aquellas ciencias que incluyen algún tipo de información ambiental a partir de los anillos de crecimiento (Schweingruber, 1996).

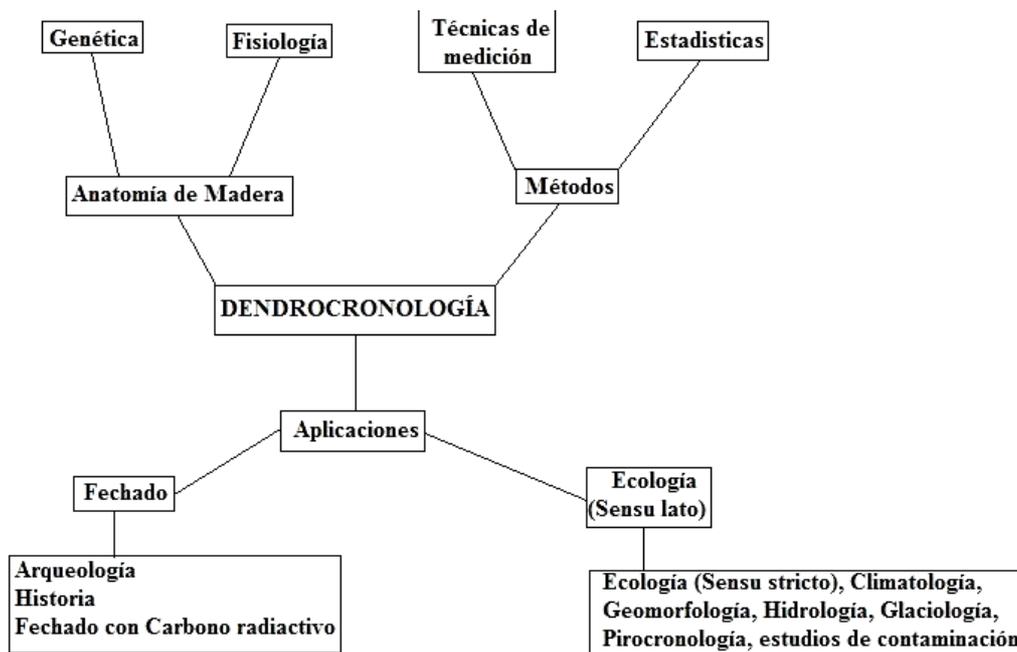


Figura 1 Esquema de aplicaciones de la Dendrocronología (Kaennel y Schweingruber, 1995)

2.3 La especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke, *Fabaceae*

Nombre común: Tornillo, huayra caspi

Sinónimos botánicos: *Cedrelinga cateniformis*, *Piptadenia cateniformis*, *Pithecellobium cateniformis* (Brack 1999; Reynel et al., 2003; Castillo & Nalvarte 2007)

Esta especie presenta una amplia lista de nombre vulgares, como achapo, credorana (Colombia): seique, chuncho (Ecuador); tornillo, huayra caspi, aguano, cedro mayna (Perú); cedro rana, parica, lacaica, yacayaca (Brasil) (CATIE 1997). Actualmente es la especie forestal nativa más promisoría en la Amazonía peruana y con características maderables valiosas y tiene un uso muy difundido en el Perú.

Está considerada entre las cinco especies forestales más apreciadas por el poblador amazónico desde el punto de vista económico y comercialmente es una de las maderas más utilizadas. Los árboles de tornillo forman parte del estrato dominante del bosque donde se desarrollan, con una altura total que puede alcanzar entre 25 y 50 m, una altura comercial entre 15 a 25 m.

2.3.1 Distribución de la especie

La especie *C. cateniformis* es nativa del bosque tropical sudamericano (Amazonía peruana, brasileña, colombiana, ecuatoriana y surinamense). Su rango altitudinal va desde los 120 hasta los 800 msnm, con temperaturas que varían desde los 15° hasta los 38°C y precipitaciones entre 2 500 a 3 800 mm anuales. Habita naturalmente en lugares húmedos y hasta pantanosos, con presencia de humus, en los bosques altos de tierra firme prefiere las nacientes y cursos superiores de los ríos en suelos arcillosos (Freitas, Medeiros y Lima, 1992). En Jenaro Herrera, los árboles semilleros ocupan los bosques de terraza alta no inundable con topografía ondulada y suelos ultisoles (Aróstegui y Díaz, 1992), coincidiendo con Malleux (1975) respecto a que en el Perú *C. cateniformis*, se encuentra en bosques de colina. Vidaurre (1997) focaliza que en la zona transicional entre bosque muy húmedo-premontano tropical a bosque húmedo tropical se encuentra la mayor frecuencia de *C. cateniformis* (Figura 2).

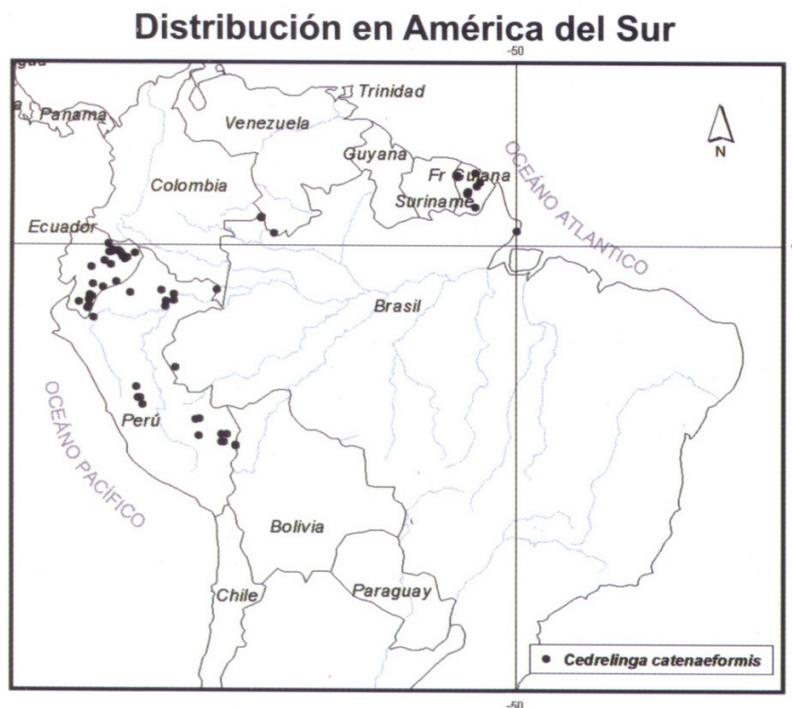


Figura 2 Mapa de distribución de *Cedrelinga cateniformis*, basado en colecciones de herbario, que no representa la distribución exacta de la especie. (Davila et al., 2008)

2.3.2 Fenología:

Reynel et al. (2003) sostienen que la floración ocurre mayormente a fines de la estación seca, entre noviembre-diciembre, fructificación a inicios de la estación de lluvias, entre diciembre-febrero. Aróstegui & Diaz (1992) sugieren que el proceso desde la floración hasta la maduración del fruto demora unos cinco meses, sin embargo observaron que toma cerca de tres meses en el ámbito de Pucallpa. En la Amazonia sur del Perú se ha observado que la producción de semilla no siempre es anual. Existen años en que algunos árboles, en ciertas localidades no producen frutos, en otros años no ha sido posible encontrar semillas en esta región. Asimismo vale resaltar que en *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, la floración ocurre entre noviembre y febrero en la Reserva Ducke (Alencar et al., 1980) y en Jenaro Herrera, Perú, esta fase floral ocurre entre octubre y diciembre (Arostegui 1974; Spichiger et al.1989; Arostegui & Diaz 1992, Brako & Zarucchi 1993; Brack 1999; Reynel et al., 2003; Castillo & Nalvarte 2007)

2.3.3 Plantación, crecimiento y cuidados:

Aróstegui & Díaz (1992) sugieren que la supervivencia es mayor cuando plantones de la especie obtenidos en vivero se establecen en fajas: 96% vs 69% a campo abierto, luego de 4 meses; asimismo que esta especie es exigente en luz.

En Jenaro Herrera (73°45`W, 4°55`S, 140 msnm: 2960 mm precipitación total anual) se reportan diámetros promedios de 14-22 cm y alturas totales promedios de 17-20 m en 9 y 15 años, respectivamente, con fuste de calidad aceptable, en plantaciones a 3x3 m de espaciamiento. La supervivencia de plantaciones de árboles de la especie ha sido alta con cierto mantenimiento (limpieza periódica y un raleo fitosanitario) en 10% a los 12 años). El área de la plantación es de suelos franco-arenosos a franco arcillosos de terrazas altas, mayormente planos, que habían sido desboscados para agricultura unos 10 años antes de la instalación de la plantación (Claussi et al., 1992).

En un área similar se reportaron diámetros promedio de 14-30 cm y alturas totales promedio de 10-25 m en 8 y 19 años respectivamente, en árboles con conformación variable, desde muy buena hasta inapropiada (Clausi et al., 1992).

2.3.4 **Importancia de la especie:**

Esta especie es considerada de alta importancia comercial en la Amazonía peruana. La producción de madera rolliza y aserrada en 1997 fue de 207 397 m³ y 128 676 m³, respectivamente (INRENA, 1997); siendo por estos niveles de extracción, prioritaria su reposición. Varios autores recomiendan *C. cateniformis* para establecer plantaciones comerciales debido a que presenta buen crecimiento en diámetro y altura, y alto porcentaje de sobrevivencia en campo abierto y en fajas, sobresaliendo en la reforestación de áreas abandonadas de ladera. Los ensayos silviculturales en el CIJH la catalogan como sobresaliente para estos fines, siendo su madera muy aceptada por el mercado y recomendada para estructuras, carpintería, construcciones navales, carrocerías, muebles, ebanistería, puntales y juguetería (Aróstegui et al, 1970). En algunas regiones de la Amazonía peruana se han establecido plantaciones forestales con esta especie, siendo necesarias mayores investigaciones para entender el comportamiento adecuado para tomar acertadas decisiones silviculturales.

2.4 **Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (C.I.J.H.)**

2.4.1 **Bosques naturales del Centro de investigaciones Jenaro Herrera**

Los bosques de Jenaro Herrera se encuentran entre los más intensivamente aprovechados del área y suministran un amplio rango de productos con fines tanto comerciales como de subsistencia (Kvist et al., 1995, 1999a,b; Kvist y Nebel, 1999), lo cual resalta la necesidad de comprender mejor

su funcionamiento y respuesta a las intervenciones. Existen diversas especies, que han sido descritas en esta área, por ejemplo *Haploclathra cordata* "boa caspi" la madera más utilizada en Jenaro Herrera, resulto ser respectivamente una especie y un género nuevo para la ciencia (Vásquez 1991). Asimismo *Caryocar harlingii*, un "almendro" colectado en el Arboretum Jenaro Herrera en 1984 y descrito en 1987 (Prance, 1987). Trece nuevas especies han sido descritas, durante el estudio de la vegetación del arboretum de Jenaro Herrera, entre otras: *Inga ricardorum* Fabaceae y *Thyrsodium herrerense*, Anacardiaceae; *Erythroxylum vasquesii*, Erythroxylaceae, *Protium gallosum*, *P. hebetatum*, *P. verecaudatum*, Burseraceae. También se han descrito dos nuevas especies de palmeras para la ciencia en esta zona: *Chelyocarpus repens* y *Oenocarpus balickii*. Extensas áreas de la Amazonía peruana aún no han sido exploradas o no han sido suficientemente estudiadas; por lo que estudios florísticos detallados, con colección de material de referencia, como los que se han llevado en la zona de Jenaro Herrera (Spichiger et al., 1989, 1990), o en las reservas forestales de Iquitos (Vásquez & Pipoly, inédito), seguramente incrementarán el número de especies conocidas y permitirán descubrir especies nuevas con propiedades insospechadas.

En Jenaro Herrera fueron determinados once tipos de vegetación (Lopez-Parodi & Freitas, 1990), de los cuales dos zonas han sido descritas según la fisiografía del lugar: una influenciada por el río Ucayali y sus tributarios, denominada planicie fluvial y otra denominada planicie interfluvial. Los tributarios del río Ucayali contienen 'aguas negras' con presencia de sustancias fenólicas, pobres en nutrientes, mientras que el río principal contiene 'aguas blancas' con grandes cantidades de sedimentos suspendidos y más ricos en nutrientes (Kvist & Nebel, 2001). En la planicie fluvial, Lopez-Parodi y Freitas (1990) describieron cinco tipos de bosques tales como (i) el bosque ribereño que corresponde a la vegetación aledaña al río Ucayali; (ii) el bosque latifoliado de aguas negras con vegetación influenciada por tributarios de aguas negras (Nebel et al., 2001); (iii) el bosque de palmeras de aguas negras con vegetación adaptada a inundaciones casi permanentes como la palmera *Mauritia flexuosa* (Encarnación, 1985; Freitas,

1996a); (iv) el bosque de palmeras de terraza baja con vegetación ubicada sobre suelos arcillo-arenosos de pobre drenaje (Encarnación, 1985) y gran diversidad de palmeras arbóreas como *Mauritia flexuosa*, *Oenocarpus bataua*, *Euterpe precatoria* y *Socratea exorrhiza* y (v) el bosque de quebrada ubicado a cada lado de las quebradas de las terrazas altas, con vegetación adaptada a inundaciones esporádicas durante la época de lluvias como *Carapa guianensis*.

En la planicie interfluvial, fueron descritos cuatro tipos de bosques tales como (i) el bosque latifoliado de terraza baja ubicado sobre terrazas formadas durante el Pleistoceno tardío (más de un millón de años); (ii) el bosque de terraza alta ubicado sobre las formaciones Pebas e Ipururo desarrolladas en el Terciario tardío (2-7 millones de años; Dumont et al., 1991); (iii) el bosque de colinas bajas ubicado sobre colinas de más de 20 m de altura y (iv) el bosque de arena blanca presente en pequeños parches con vegetación densa de porte bajo y denominados localmente como varillales y chamízales (Encarnación, 1985).

Los estudios florísticos en Jenaro Herrera y especialmente de la flora arbórea (Spichiger et al., 1989, 1990, 1996; Freitas, 1996a,b; Nebel et al., 2001) fueron desarrollados en los diversos tipos de bosque siguiendo la clasificación descrita por Lopez-Parodi y Freitas (1990). Los inventarios más recientes fueron realizados en el año 2005 por la Red Amazónica de Inventarios Forestales (Peacock et al., 2007) y en el 2007 por el Royal Botanic Garden Edinburgh. Más de 600 especies arbóreas fueron inventariadas y muchas de éstas están depositadas en el Herbario Herrerense.

2.4.2 Plantaciones forestales del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera

La historia forestal en Jenaro Herrera, se remite a 1967, año en que se inició la colonización de esta zona promovida por el Ministerio de Agricultura, con el apoyo técnico-financiero de la Cooperación Técnica Suiza (COTESU). Sobre la base de estas premisas se organiza la investigación forestal en el CIJH, iniciando los estudios de silvicultura de especies forestales en plantaciones, complementándose posteriormente con la investigación ecológica y silvicultural en bosques naturales.

En 1969 se instalan los primeros experimentos con caoba y cedro, presentan rápidamente serios problemas de adaptación a las condiciones de terraza alta, ya que no existía, en el caso de las Meliáceas, un método comprobado de control de *Hypsiphilla* cuando se trataba de introducir las especies fuera de su sitio. En 1971 se opta por experimentar con *C. cateniformis*.

Simultáneamente a los ensayos, se instalan a partir de 1972 las primeras plantaciones experimentales silvícolas a campo abierto con las especies consideradas más promisorias (*C. cateniformis* y en menor grado, *Simarouba amara*). Los buenos resultados obtenidos en los ensayos bajo dosel incitan a priorizar, desde 1977, las plantaciones de enriquecimiento.

En 1983, el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), mediante convenio con la Cooperación Técnica Suiza (COTESU), asumió las investigaciones forestales, partiendo de una evaluación de todas las plantaciones existentes y formulándose un plan de intervenciones silvícolas (limpieza, medición y raleos) en las plantaciones que se encontraban en buen estado.

En la actualidad, el área de plantación que se viene manejando es de 20 ha en campo abierto, 40 ha en fajas y 5 ha en sistemas agroforestales, que incluye 76 plantaciones con 204 parcelas permanentes de control (PPC), donde existen 32 especies de las 113 que se consideró inicialmente (104 nativas y 9 exóticas). Para fines de capacitación se cuenta con la plantación arboreto donde se puede observar el comportamiento de 35 especies forestales adicionales. Se tiene bajo control permanente 7988 árboles. Las especies más estudiadas son *C. cateniformis* y *Simarouba amara*, con 3200 árboles en 62 PPC y 1832 en 42 PPC, respectivamente. Las especies que han mostrado un mejor comportamiento y un mayor desarrollo son las dos antes mencionadas (Abadie 1976; Sabogal 1980; Marmillod 1982; Claussi et al., 1992)

2.5 Dendrocronología en Bosques Tropicales:

León y Espinoza de Pernia (2001) sustentan hasta hace poco tiempo existían pocas tentativas de realizar estudios de análisis de anillos en los bosques tropicales. La presencia de anillos indistintivos y la uniformidad de los períodos de

crecimiento parecían problemas insuperables. Parte del pesimismo para realizar este tipo de estudios en el trópico era como consecuencia de la carencia de conocimientos sobre la realización de estudios de anillos de crecimientos exitosos con especies tropicales. Sin embargo, en los últimos años el conocimiento de la estructura anatómica de especies tropicales indica el potencial de estudios de anillos de crecimiento en especies de esta área (Jacoby, 1989).

El bosque del dominio Amazónico del Neotrópico constituye además una pieza clave para la comprensión del sistema climático global, no sólo por su enorme extensión (la mayor parte de América del Sur y parte de América Central) sino también por su rica diversidad forestal (Roig, 2000). Las investigaciones de anatomistas de la madera y dendrocronólogos han logrado revertir la idea de la sola expresión de crecimiento continuo en los trópicos demostrando que en estos ambientes, y principalmente en los cinturones intertropicales, se producen ciclos del crecimiento en respuestas a variaciones estacionales del clima, con su correlato en la formación de anillos anatómicamente distinguibles.

Así, Koriba (1958) determinó que en Malasia el 15% de las especies presentan un crecimiento continuo mientras que el resto evidencia algún tipo de crecimiento periódico. En los trópicos lluviosos del Amazonas, el 43% de los árboles muestran anillos de crecimiento (Alvin, 1964), mientras que en la India lo presentan el 25% (Chowdhury, 1961), con un porcentaje similar en el trópico húmedo de Argentina (Roig y Delgado, 1996).

La realización de estudios dendrocronológicos en Brasil, India, Java y Tailandia han demostrado la posibilidad de obtener resultados satisfactorios en este tipo de investigaciones (Devall et al., 1995). Worbes (1984, 1994), citado por Schweingruber (1996), encontró que de un total de 400 especies que crecen en la región amazónica y Venezuela, 240 desarrollan anillos de crecimiento adecuados para la realización de estudios dendrocronológicos. Bhattacharyya et al., (1992), citado por Schweingruber (1996), construyó cronologías de 180 años para *Tectona grandis* y *Cedrela toona* en el sureste de la India. D'Arrigo et al., (1997) señala que en Tailandia se han realizado estudios de dendrocronología con *Pinus kesiya*, *P. merkussi* y *Tectona grandis*; estableciendo cronologías que abarcan desde los

años 1647 hasta 1993 para *Pinus merkussi*. En la última década ha habido un crecimiento notorio en investigaciones dendrocronológicas en Sudamérica, en Brasil (Détienne & Mariaux 1970; Détienne 1976; Tomazello Filho & Worbes 1998; Vetter & Botosso 1989; Worbes 1989; Détienne 1989; Worbes 1995; Tomazello 1995; Lisi et al., 1998; Tomazello Filho 1998; Lisi et al., 1999; Mattos 1999; Tomazello Filho & Cardoso 1999, Tomazello Filho et al., 2001), Bolivia (Brienem & Zuidemman 2003; Brienem, 2005) y Perú (Rosero, 2009).

2.6 Dendrocronología con árboles de *Cedrelinga cateniformis*

Recientemente se ha descrito el potencial de los anillos de crecimiento de diversas especies, que podrían dar información valiosa para el manejo forestal (Stahle et al. 1999, Worbes et al., 2002). Asimismo, *C. cateniformis* fue estudiada por Brienem y Zuidema (2003) y Brienem (2005) donde se determinó que *C. cateniformis* es una especie de crecimiento rápido y alcanza un diámetro de 50 cm en aproximadamente 65 años. Los árboles de *C. cateniformis* entre un diámetro de 25 y 40 cm, pueden ser considerados como árboles potenciales para ser cosechados en un segundo ciclo de corta. Para *C. cateniformis* se demostró cómo se puede usar los datos de anillos de crecimiento, para comparar con los datos de crecimiento de las parcelas permanentes de muestreo. Las tasas de crecimiento obtenidas por el análisis de los anillos, no difieren de los resultados obtenidos por las mediciones de las parcelas permanentes de muestreo (Figura 3), lo que indica que el carácter de estos anillos es probablemente anual.

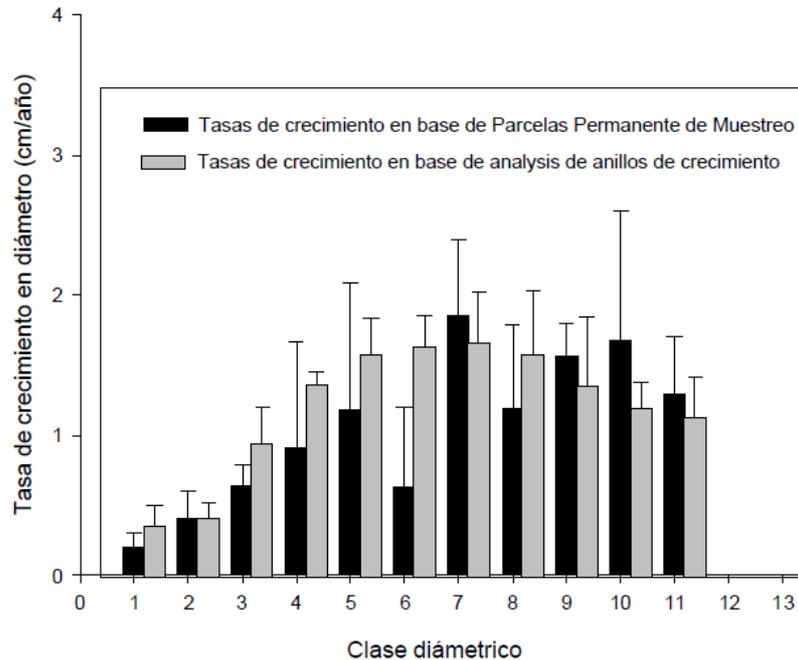


Figura 3 Tasas de crecimiento en diámetro de *Cedrelinga cateniformis*, por diferentes clases diamétricas en base de mediciones de crecimiento de Parcelas Permanente de Muestreo (PPM, barras en negro) y en base de anillos de crecimiento (barras en gris). (Fuente Brienen, 2005)

2.7 Densitometría de rayos X en especies tropicales:

La densitometría de rayos X aplicadas al análisis de maderas fue iniciada por Polge (1962, 1965, 1966) que radiografió muestras de madera de 5 mm de espesura con un aparato estacionario. La densidad del leño de los árboles de especies forestales es considerada como una de las propiedades físicas mas estudiadas en el área de ciencia y tecnología de la madera por presentar relación con los otras propiedades de la madera y de sus productos (Decoux et al., 2004), y también en la caracterización de los anillos de crecimiento (Sckinker et al., 2003; Guilley et al., 2004).

Consecuentemente el método de densitometría de rayos X en maderas, presenta una ventaja significativa al establecer con alta precisión, el perfil en la variación de la densidad en un único anillo de crecimiento o en la sección transversal en la variación entre medula y corteza (Polge, 1978)

Vetter & Botosso (1989) determinaron una correlación positiva entre la variación de la densidad de los anillos de crecimiento en el leño de los árboles de *C. cateniformis* y la precipitación en la Amazonia Brasileira por densitometría de rayos X.

(Tomazello Filho et al., 2000) demostraron que los anillos de crecimiento en árboles de *Cedrela odorata* y *Toona ciliata* fueron formados anualmente, siendo verificados por la aplicación de rayos X. Akachuku (1981, 1984, 1985) utilizó el perfil de la densidad en el leño por densitometría de rayos X para determinar el ancho en los anillos de crecimiento en el tronco de los árboles aplicando el valor de densidad aparente media de la madera para establecer su relación con el índice de precipitación. Chagas (2009) determinó el ancho de los anillos de crecimiento por densitometría y correlacionó con los registros de contaminación por mercurio en árboles de 5 especies de los municipios de Paulina y Piracicaba en Brasil. Finalmente Rosero (2009) utilizó la densitometría en *Swietenia macrophylla* para determinar la edad de los árboles en bosques naturales de la Región de Madre de Dios en Perú.

Estos estudios demuestran el potencial de esta técnica, como una herramienta para analizar la calidad en la madera, así como para demarcar los anillos de crecimiento en los árboles tropicales, para estudios de dendrocronología.

3 Materiales y Métodos:

3.1 Caracterización de los bosques en la Región Loreto:

El Perú es uno de los 12 países mega diversos, ocupa el cuarto lugar en biodiversidad, noveno en aspectos endémicos (CONAM, 2001), y alberga el 70% de la biodiversidad mundial. El crédito corresponde mayormente a la Amazonía Peruana y entre ellas a la Región Loreto. Los bosque de la región Loreto está conformada por diferentes tipos de bosques, predominando el Bosque Húmedo de Colinas Bajas, ocupando el 54.80 % del territorio regional, las colinas bajas presentan distintos grados de disección, desde ligeramente hasta fuertemente disectadas.

Han sido formadas por acción tectónica, habiendo intervenido también en la última fase de su modelado el efecto erosivo de la precipitación pluvial, con suelos superficiales a moderadamente profundos. El bosque presenta una densa y exuberante vegetación, conocido también como “selva baja”, el cual alberga una gran diversidad vegetal y animal, en sus diferentes formas de vida, siendo el componente arbóreo el que domina. El dosel superior del bosque está conformado por árboles vigorosos que superan los 40 metros de altura. El volumen estimado total de los árboles superiores a 30 cm de D.A.P. está entre 80 y 160 metros cúbicos por hectárea. (INRENA, 2003). La Tabla 1 muestra los tipos de bosque en la región.

Tabla 1: Tipos de bosques de la Región Loreto

DESCRIPCIÓN	EXTENSIÓN (ha)	%
Aguajales	2'929,880.58	7.94
Pantanos	5'102,548.44	13.83
Bosque Húmedo de Llanura Meándricas	1'756,106.48	4.78
Bosque húmedo de Terrazas Bajas	2'198,800.25	5.96
Bosque Húmedo de Terrazas Medias	943,851.57	2.56
Bosque Húmedo de Terrazas Altas	500,277.03	1.36
Bosque Húmedo de Colinas Bajas	20'211,324.86	54.80
Bosque Húmedo de Colinas Altas	819,261.52	2.22
Bosque Húmedo de Montaña	1'090,753.52	2.96
Otros	1'323,390.26	3.59
Total	36'885,194.51	100,00

Fuente: Gobierno Regional de Loreto, 2005.

3.2 Ubicación del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera – Loreto:

Los árboles de las plantación forestal 401-74, y del bosque estudiados en el presente estudio, se encuentran ubicadas en los terrenos pertenecientes al Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (CIJH), estación experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Las instalaciones del CIJH, se encuentran a 2.8 km de la Villa de Jenaro Herrera (4°55'S, 73°44'O), ubicado en el distrito de Jenaro Herrera, provincia de Requena, en la Región Loreto (Figura 4).

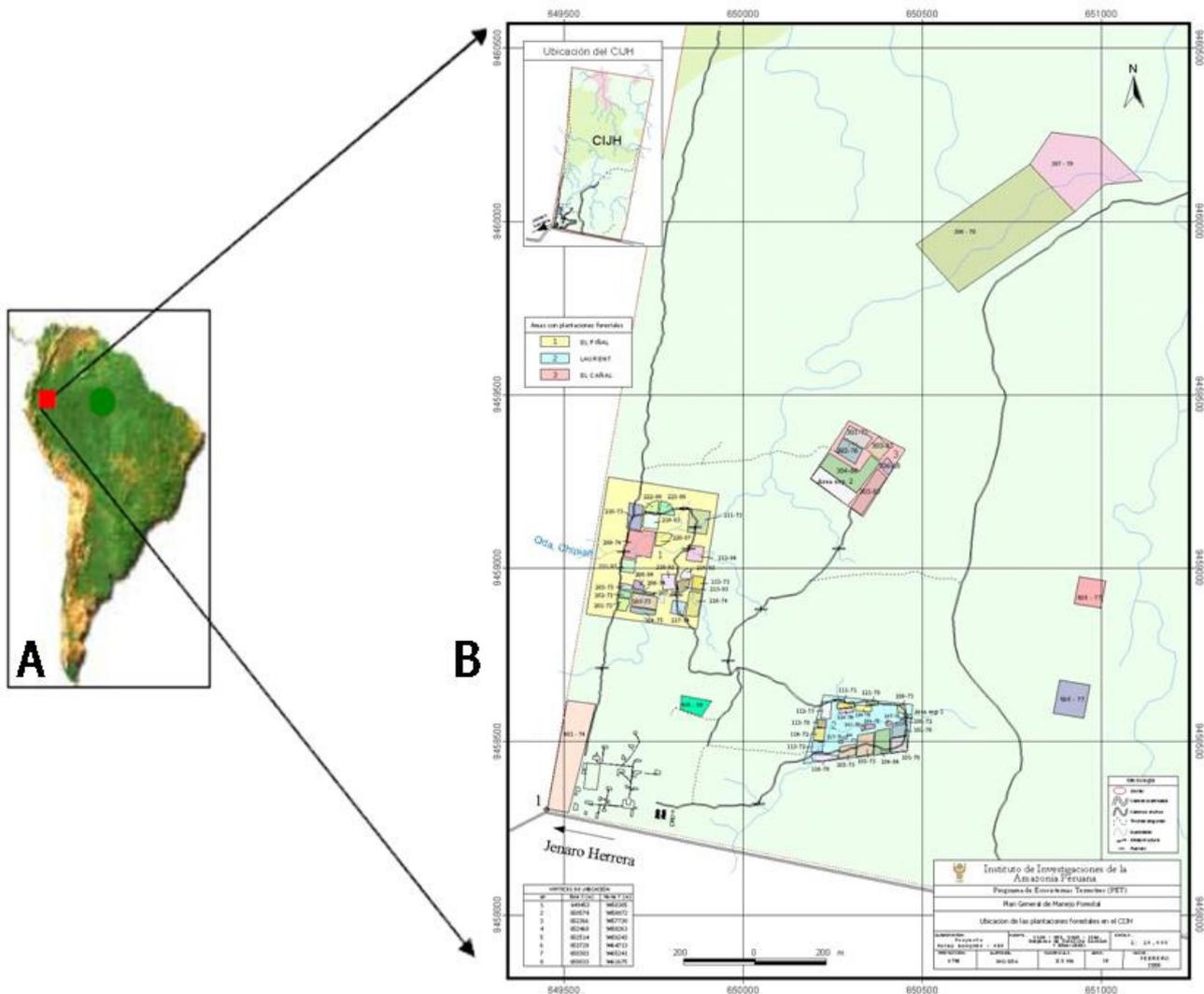


Figura 4 Centro de Investigaciones Jenaro Herrera, Requena – Perú. Fuente: (Yepes, 2007). A- Ubicación de la Región Loreto. B- Mapa del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.

3.3 Clima

En la estación meteorológica instalada en los terrenos del CIJH se ha registrado una precipitación promedio anual de 2 730 mm, para un periodo de observación de 22 años (1972 – 1994). Abril es el mes que históricamente registra una mayor precipitación de 294.3 mm y julio la de menor, llegando a 155.2 mm. El período más lluvioso comprende los meses entre octubre y mayo (más de 200 mm mensuales) siendo los más intensos entre enero y abril; el período menos lluvioso comprende de junio a setiembre.

La temperatura media anual en el período anteriormente mencionado fue de 26.9°C, con una variación de 2°C. La temperatura mínima y máxima promedio es de 21.1 y 32.6°C, respectivamente. Las temperaturas absolutas más elevadas (hasta 37.6°C), se pueden encontrar en dos épocas: en enero, febrero y marzo y en agosto, setiembre, octubre. Las más bajas (hasta 11.4°C), aparecen casi cada año en julio, o algunas veces en junio, agosto o setiembre. Las horas de sol varían entre 56.2 (marzo 1979) y 217.4 (julio 1983). La presencia de un ritmo anual para este parámetro es evidente. El número de horas de sol es más bajo en febrero, marzo y abril (casi 100 h) que en los meses de julio, agosto y setiembre (alrededor de 170 h). Por término medio hay 1. 652 horas de sol al año. Los años 1974 y 1977 fueron lo menos soleados (unas 1 500 h), mientras que el año 1983 tuvo el máximo de horas de sol (1 876 h).

En resumen, el clima de Jenaro Herrera se caracteriza por tener una estación relativamente seca y soleada –más importante unos años que otros-, durante los meses de junio, julio, agosto y setiembre, época en la que se registran las temperaturas más bajas debido a la influencia del aire polar procedente del sur (Figura 5). El resto del año es húmedo, con menos sol y un poco más caliente; pero puede haber otra estación seca más corta entre diciembre y marzo (Gautier y Spichinger, 1986).

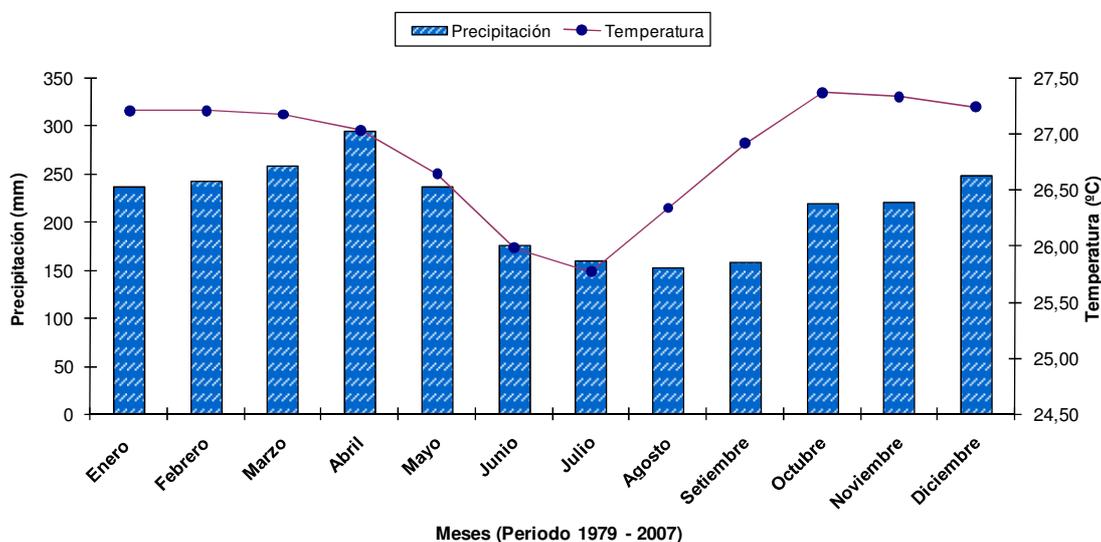


Figura 5 Climatograma de la estación meteorológica Jenaro Herrera en la Región Loreto.

3.4 Fisiografía

La zona de Jenaro Herrera presenta dos paisajes bien diferenciados: La Planicie aluvial fluvial y la zona de altura (tierra firme), en la zona de altura o “tierra firme” se identifican tres grandes unidades fisiográficas: la terraza baja; la terraza alta y la colina baja. Todas las plantaciones utilizadas para este estudio se localizan en terraza alta, la que se muestra como una extensa llanura, cruzada por depresiones de 6 a 12 m de profundidad y de 10 a 300 m de ancho. El fondo de los valles es plano y se denominan localmente bajiales, estos son recorridos por quebradas que forman meandros y laderas con pendientes que superan el 10% (López Parodi y Freitas, 1990).

3.5 Suelos

Las plantaciones han sido instaladas sobre suelos de diferentes texturas que van desde arena franca hasta franco arcillo arenoso. El color predominante de los suelos es amarillo anaranjado, y se caracterizan por ser fuertemente ácidos (de 3.9 a 4.6 de pH); presenta una estructura granular con fuerte presencia de raíces

hasta una profundidad de 60-70 cm, por debajo de la cual la estructura se transforma en masiva. Algunos suelos presentan un horizonte superior grisáceo bien desarrollado (Claussi *et al.*, 1992). En el Bosque del C.I.J.H. la terraza alta se presenta como extensa llanura ubicada a unos 30 m. sobre el nivel de agua del río Ucayali. Posee valles de 6 a 12 metros de profundidad y 100 a 300 metros de ancho (Marmillod 1982). Desde los bordes de la terraza hasta el centro se encuentra sucesivamente un suelo de color anaranjado – rojo después un suelo amarillo – anaranjado, con presencia creciente de un horizonte superior grisáceo, luego un suelo dominado por los tonos grises y un tono blanco, el suelo anaranjado es un suelo franco arenoso arcilloso a arcilloso arenoso (Abadie 1976; Sabogal 1990; Marmillod 1982; Claussi *et al.*, 1992).

3.6 Demarcación, colecta, y extracción de las muestras de leño en árboles de *C. cateniformis*:

Los árboles de *C. cateniformis* en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera, fueron ubicados con auxilio de los mapas disponibles en los proyectos en desarrollo. Un total de 20 árboles de la plantación 401-74 fueron demarcados, considerándose diferentes clases diamétricas, asimismo en el bosque fueron identificados 15 árboles. Las muestras de leño de los árboles de ambos sitios fueron colectados con auxilio de sondas Pressler (5 x 400 mm, diámetro x largura), el muestreo se realizó de acuerdo a las características de cada árbol (D.A.P., raíces, corteza), luego se codificó, acondicionándolas en tubos de plásticos y transportadas para el Laboratorio de Anatomía, Anillos de Crecimiento y Densitometría de Rayos X de Maderas, del Departamento de Ciencias Forestales – ESALQ/USP (Figura 6).

Las muestras radiales de leño de los árboles de *C. cateniformis* fueron aplicadas en la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento, análisis dendrocronológico, evaluación de la calidad de la madera por sitio y para delimitar el límite de los anillos de crecimiento.



Figura 6 Extracción de las muestras de leño en árboles de *Cedrelinga cateniformis*. (A) árbol de *Cedrelinga cateniformis*; (B) Introducción de la sonda en el interior del tronco a través del movimiento en el sentido horario; (C) y (D) extracción de las muestras; (E) Detalle de muestra extraída por la sonda Pressler.

3.7 Caracterización anatómica en la estructura de los anillos de crecimiento y el leño de los árboles de *Cedrelinga cateniformis*:

3.7.1 Preparación de las muestras de leño para caracterizar los anillos de crecimiento

Fueron seleccionadas 13 muestras de leño de los árboles colectados (Anexo Tabla 16, 17), para la caracterización de los anillos de crecimiento. Las muestras fueron fijadas en soportes de madera y la sección transversal en cada muestra lijada, bajo diferentes granulado (180, 360, 400 y 600 gramos/pulgada²) para posibilitar el contraste de los elementos anatómicos. Los anillos de crecimiento fueron analizados y fotografiados con auxilio del microscopio estereoscópico (40X), acoplado a una cámara fotográfica digital. Para la caracterización de los anillos de crecimiento en el leño de los árboles (Figura 7) fueron utilizadas las normas del IBAMA (1991) y de la IAWA (1989), para estudiar la anatomía de la madera en angiospermas.

3.8 Preparación de las muestras de leño para la caracterización anatómica

3.8.1 Caracterización macroscópica

Fueron cortadas pequeñas sub muestras radiales (20x4.3 mm, largo x diámetro) en el leño de 13 árboles de *C. cateniformis* (Anexo Tabla 16,17), las muestras de leño fueron fijadas en soportes de madera en disposiciones orientadas y codificadas, siendo inmersos en agua, fijada en micrótomo de deslice y cortado posteriormente la superficie transversal. Estas muestras fueron observadas en microscopio estereoscópico y las imágenes fueron colectadas por la cámara digital describiendo la estructura macroscópica en el leño siguiendo las normas del Instituto Brasileiro de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. IBAMA (1991) y de la IAWA (1989).

3.8.2 Caracterización microscópica

Fueron cortadas pequeñas sub muestras radiales (20 x 4.3 mm, largura x diámetro) en el leño de 13 árboles de *C. cateniformis* (Anexo – Tabla 16, 17) y demarcados los cuerpo de prueba, orientados y codificados. Las muestras analizadas de *C. cateniformis* fueron inmersos en agua para la saturación, siguiendo la muestra quede más saturada en agua a ebullición, fijando en el micrótopo de deslice y cortando la sección transversal y longitudinal radial y tangencial (15-20 µm de espesor).

Los cortes histológicos de leño fueron clarificadas (agua sanitaria, 1:1), lavados (agua destilada, ácido acético 1%), deshidratados (serie alcohólica, 30 – 100%), lavados (xilol), coloreados (safranina) y montados (sub laminas, con bálsamo de Canadá) en láminas histológicas de vidrio (Johansen, 1940; Sass, 1951). Las laminas histológicas con los cortes anatómicos en el leño de los árboles de *C. cateniformis* fueron observadas en microscopio de luz acoplado a una cámara digital y su estructura anatómica descrita de acuerdo a las normas de IBAMA (1991) y de la IAWA (1989) aplicada para estudios de anatomía de madera en angiospermas (Figura 7).

Las sub muestras de leño fueron transferidas para tubos de ensayo (acido acético + peróxido de hidrogeno – 120 vol 1:1), perfectamente cerradas y mantenidas en estufa (60°C, 48 h). La solución macerante fue mezclada y a suspensión de células en el leño de agua, coloreadas (safranina + glicerina) para el montaje de las láminas histológicas (Johansen, 1940; Sass, 1951). Las laminas histológicas con la suspensión en la células fueron examinadas en microscopio de luz acoplado a una cámara digital y se tomaron fotos, las imágenes permitieron medir las dimensiones de las células en el leño de los árboles de *C. cateniformis* aplicando el programa UTHSCSA Image Tool Versión 3.0 Febrero 2002.

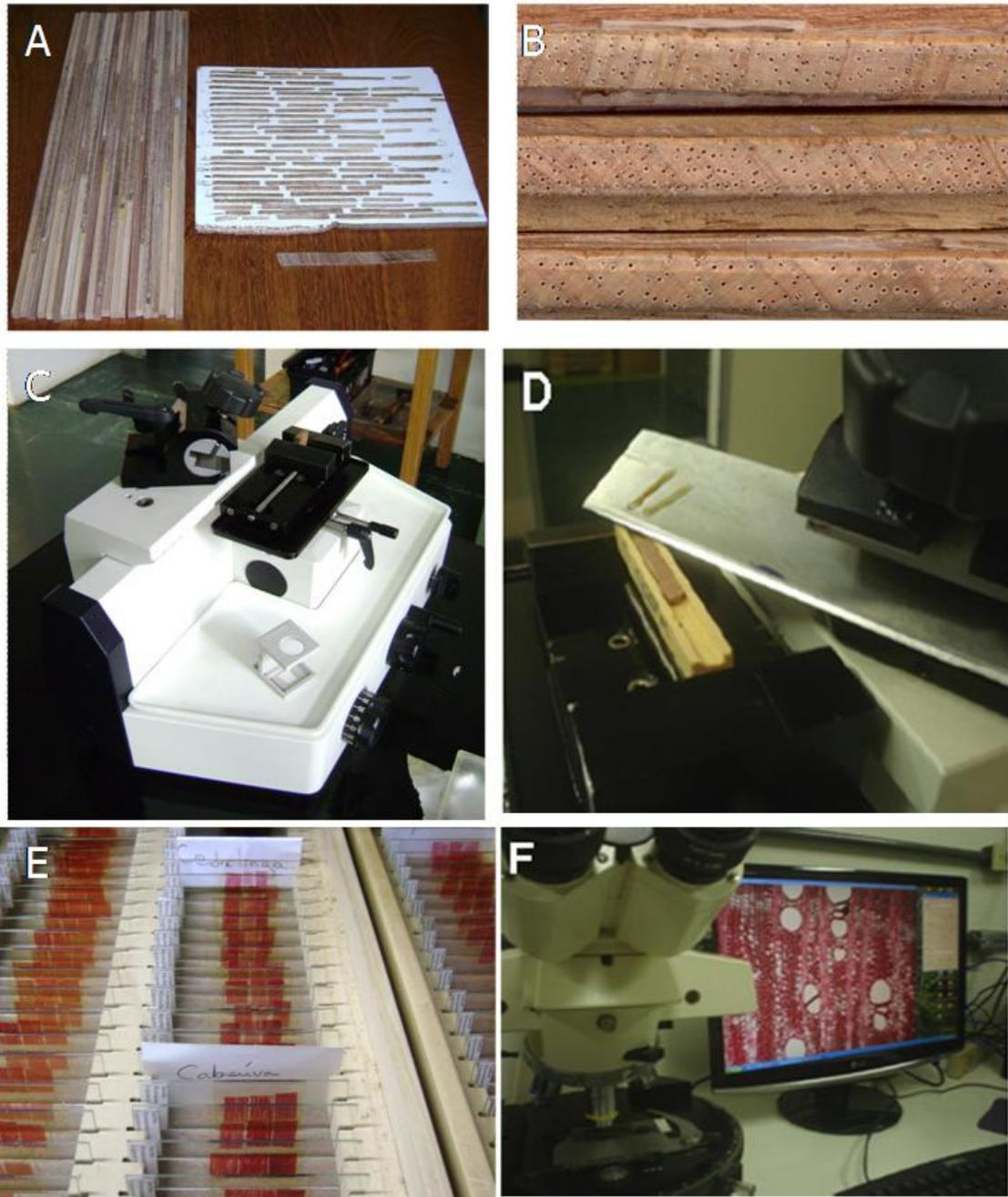


Figura 7 Análisis anatómico macro y microscópico en el leño de *Cedrelinga cateniformis*. A- Pulimiento y aspecto de la sección transversal de las muestras de leño C, D- Montaje y corte de las secciones de leño en la navaja de micrótopo de deslice. E- láminas histológicas de *Cedrelinga cateniformis* F- Observación de la estructura microscópica de leño y medición de los elementos anatómicos en software digital.

3.9 Análisis dendrocronológico de los anillos de crecimiento en árboles de *Cedrelinga cateniformis*

3.9.1 Preparo de las muestra de leño

Las muestras de leño de todas los árboles de *C. cateniformis* (Anexo Tabla 16, 17) fueron coladas en soportes de madera, como los elementos anatómicos, dispuestos en el sentido longitudinal. La sección transversal de las muestras en el leño fueron pulidas manualmente con lijas de diferentes granulaciones (180, 360, 400 y 600 gramos/pulgada²) para el contraste de los anillos de crecimiento y de la estructura macroscópica del leño (figura 8).

3.9.2 Medición y sincronización (co- datación) de los anillos de crecimiento.

En la sección transversal de las muestras de leño fueron demarcadas el límite de los anillos de crecimiento y, enseguida, determinado el ancho mediante la utilización de la mesa Velmex (0,001mm de precisión), se aplico el programa PJK (Holmes, 1994) (Figura 8). Este programa genera un archivo de datos con una extensión RAW., que permite el análisis mediante el uso de los programas utilizados en dendrocronología. Los valores del ancho en los anillos de crecimiento de cada árbol fueron considerados como una serie cronológica, procediéndose, de esta manera, a la sincronización de las 32 series para la plantación 401-74 (14 árboles) y 10 series para el bosque en el C.I.J.H. (8 árboles).

Se realizó el control de la calidad de las mediciones y la verificación de la sincronización (co-datado) mediante el programa COFECHA (Holmes et al., 1986), que analiza estadísticamente la correlación entre las porciones de las series fluctuantes (a datar) y las series individuales o maestras independientemente datadas y verificadas, posibilitando identificar la existencia de falsos anillos de crecimiento para su posterior control.

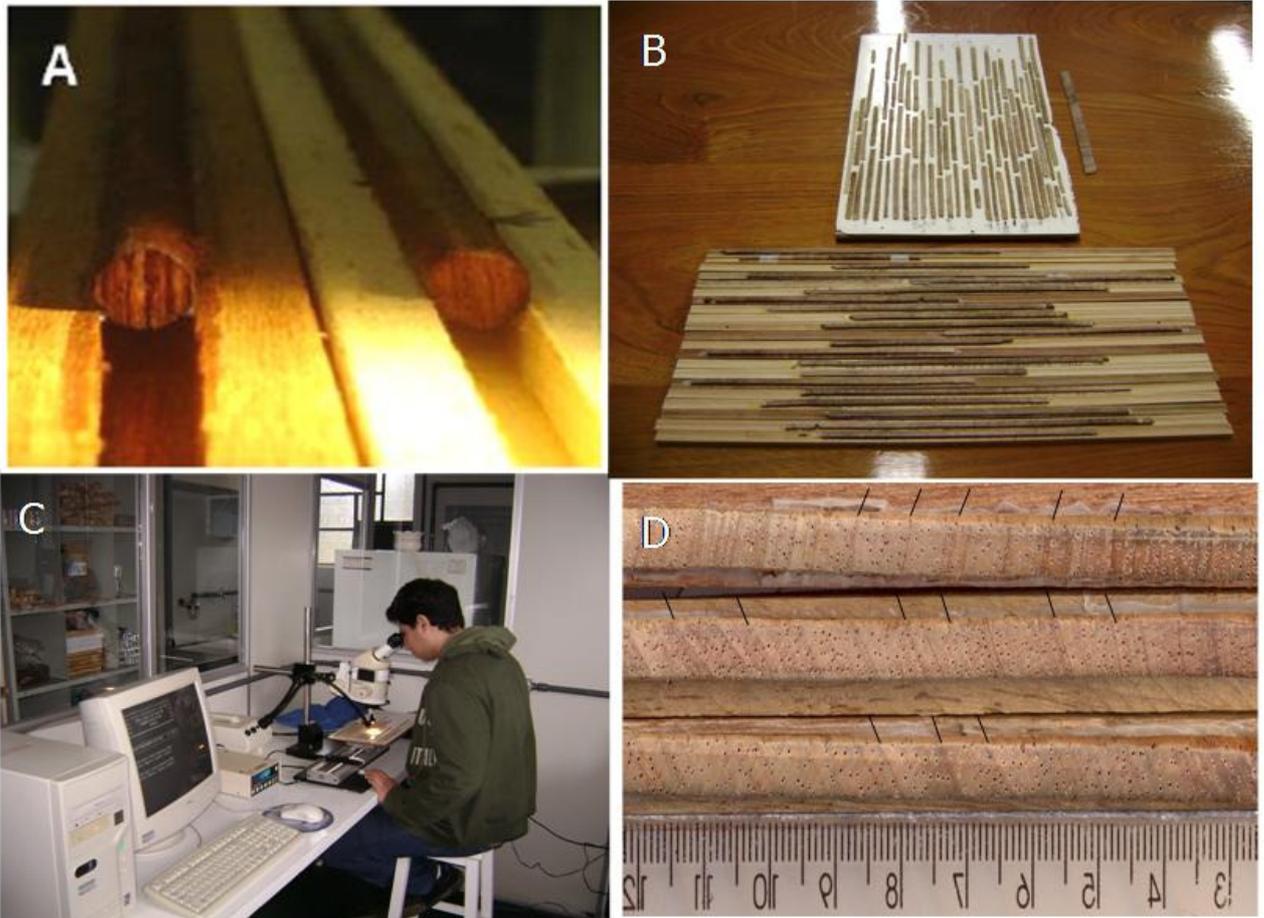


Figura 8 Análisis de los anillos de crecimiento en árboles de *Cedrelinga cateniformis* . A-Colado de las muestras de leño en soportes de madera, con los elementos celulares en el sentido longitudinal. B- Muestras de leño coladas, identificadas para el análisis. C, D- Identificación, marcación y medición en el ancho de los anillos de crecimiento.

3.9.3 Elaboración de la serie maestra en los anillos de crecimiento:

En la elaboración de la Serie Maestra es importante describir los conceptos de *señal* y *ruido*. Se conceptualiza señal, a la información relevante contenida en los anillos de crecimiento para el estudio, en particular de una variable, en cambio *ruido* es un parte de la información presente en las series de los anillos de crecimiento que es irrelevante para el estudio de la variable considerada. De esta manera, las series en los anillos de crecimiento en el leño de los árboles, es un conjunto (agregado) de varias señales, pudiendo tener la presencia de ruido, según la aplicación del estudio dendrocronológico. El análisis de un disturbio particular por la aplicación de los anillos de crecimiento en los árboles consiste en realizar una buena descodificación 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 ó *señal* en el ancho de los anillos de crecimiento está en función al clima (precipitación y temperatura), considerándose como ruido todos los factores, diferentes al clima, que afectaron el ancho de los anillos de crecimiento (o el crecimiento del tronco de los árboles). Como metodología, fueron aplicados los conceptos de Cook & Kairiukstis (1989), los cuales consideraron las series de los anillos de crecimiento como un agregado lineal compuesto por *señales* presentes expresadas por la siguiente ecuación:

$$Rt = At + Ct + d D1t + d D2t + Et (1)$$

Donde:

Rt – Serie del ancho de los anillos de crecimiento observados

At – Tendencia en el ancho de los anillos de crecimiento relacionadas al tamaño y la edad de los árboles

Ct – Señal climáticamente relacionado con el ambiente; d – indicador binario relacionado con la presencia ($_ = 1$) o ausencia ($_ = 0$);

D1t – Disturbios causados por perturbaciones endógenas y de la acción localizada

D2t – Disturbios causados por perturbaciones exógenas que actúan a nivel poblacional

Et – Variabilidad (año a año) no relacionadas con los demás factores

t – Año relacionado con cada factor.

Para facilitar la aplicación del modelo se procuro maximizar el efecto de la variable climática en la formación de los anillos de crecimiento mediante la selección de sitio en el muestreo, en área donde los árboles de *C. cateniformis* presentaban comportamiento sensible a las variaciones climáticas estacionales (precipitación y temperatura), es decir en el bosque natural del C.I.J.H. y árboles creciendo bajo las mismas condiciones, plantación 401-74.

En seguida, cada serie cronológica fue padronizada, retirándose las tendencias de crecimiento en los datos del ancho de los anillos de crecimiento, asumiéndose que son funciones de las dimensiones y de la edad de los árboles de *C. cateniformis* y de las perturbaciones endógenas y exógenas, conforme al modelo siguiente:

$$Q_t = f(A_t, d, D1t, d, D2t) \quad (2)$$

Donde:

Qt – tendencia de crecimiento estimada como una función apenas da edad

f – función matemática

At – tendencia en el ancho de los anillos de crecimiento relacionada con el tamaño y la edad de los árboles; **d** – indicador binario relacionado con la presencia ($_ = 1$) o ausencia ($_ = 0$)

D1t – disturbios causados por perturbaciones endógenas y de acción localizada

D2t – 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 et al., 1986), el cual se ajusta a una función de regresión de los datos (ancho de los anillos de crecimiento). La remoción de las tendencias fue realizada conforme la metodología indicada por Fritts (1976), cuyos datos fueron transformados en índice del ancho del anillo de crecimiento (***It***) o también denominada simplemente *índice*:

$$I_t = \frac{R_t}{Q_t}$$

Donde:

It – índice en el ancho de los anillos de crecimiento

Rt – serie en el ancho de los anillos de crecimiento observado

Qt – tendencia de crecimiento estimada como una función apenas de la edad.

La padronización (estandarización) realizada por el programa ARSTAN tiene dos objetivos, siendo remover las tendencias de crecimiento no climáticas relacionadas con la edad de los árboles de *C. cateniformis* y permitir que los valores padronizados de los árboles de *C. cateniformis* individuales, con diferentes tasas anuales de crecimiento en el tronco, sean calculadas juntos en una función media.

El proceso de padronización posee, la ventaja de corregir la heterogeneidad de la varianza de los datos en el ancho de los anillos de crecimiento, una vez que los desvíos padrones de los índices dejan de ser una función de la media, como ocurría antes de la padronización. Como los datos padronizados (índices) se produce como un cálculo de las cronologías medias de los anillos de crecimiento, denominadas *ESTANDAR*, generadas a partir de la utilización del programa ARSTAN para cada sitio en los árboles de *C. cateniformis* 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 mas influencio (precipitación o temperatura) en el ancho de los anillos y consecuentemente en el crecimiento de los árboles. Consecuentemente se realizó un análisis más detallado utilizando el programa RESPO (Holmes, 1994) que analiza las respuestas de los árboles (cronologías) a las variables climáticas, mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

3.10 Variación radial de la densidad del leño en árboles de *Cedrelinga cateniformis* por densitometría de rayos X:

3.10.1 Preparación de las muestras de leño

Las muestras radiales de leño en árboles de *C. cateniformis* (Anexo Tabla 16,17) fueron coladas en soporte de maderas y cortadas en la sección transversal (2,0 mm de espesor) con una dupla sierra circular paralela (Figura 9A). Las secciones transversales del leño (figura 9B) fueron acondicionadas en cámaras climatizadas a 20 °C, con 50% UR, hasta conseguir el 12% de humedad.

3.10.2 Obtención de los filmes radiográficos

Las secciones transversales del leño y la cuña de calibración de acetato de celulosa (densidad: 1,48 g/cm³) fueron dispuestas sobre un soporte con filme de rayos X (Kodak, Diagnostic Film T-Mat, 240x180 mm) (Figura 9 C, D), en condiciones de cámara oscura. En seguida, las muestras de leño y la cuña de calibración de acetato de celulosa, fueron transferidas para el equipamiento de rayo X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N; 1,20 m distancia de la fuente de rayos-X-filme) y radiografiadas (5 minutos de exposición, 16 Kv de tensión acelerados en el tubo, 3 mA de corriente de calentamiento de cátodo). Los filmes radiográficos de las muestras de madera y la cuña de calibración fueron revelados en un aparato de Macrotec MX-2 (Amaral & Tomazello Filho, 1997, 1998).

3.10.3 **Análisis de los filmes radiográficos**

Los filmes radiográficos de las muestras de leño fueron digitalizados en escáner (Hewlett

Packard ScanJet 6100C/T) con resolución de 1000 dpi (pixel por pulgadas) en escala gris de 256 grados. En la imagen digitalizada fueron realizadas comparaciones con una escala gris de las muestras de madera con un testigo de curva padrón (valores conocidos de densidad: $1,48 \text{ g/cm}^3$), siendo determinados los valores conocidos de densidad y convertidos para un archivo tipo DEN, a través del software CRAD, así mismo el archivo DEN fue leído con auxilio del software CERD (Figura 9E) considerando 500×10 (largura x ancho) determinándose la densidad para los segmentos de 25 % de largo de las muestras de leño

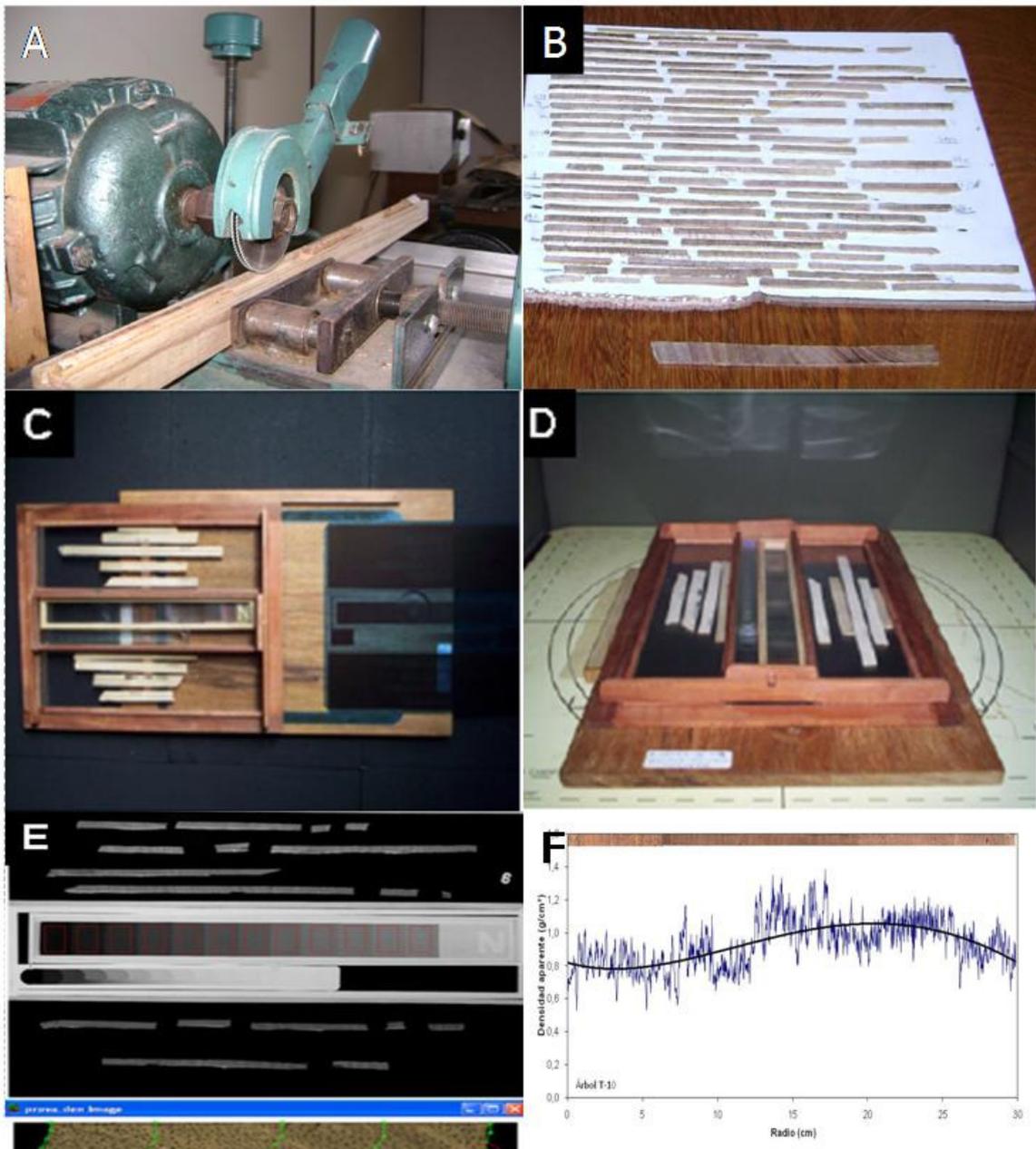


Figura 9 Metodología de rayos X y obtención de los perfiles radiales de densidad en el leño de *Cedrelinga cateniformis*. A- Corte de las muestras de leño en el equipamiento de dupla sierra. B- Sección transversal de las muestras de leño. C- Soporte de las muestras de leño y de la cuña de calibración sobre los films radiográficos. D-cámara de irradiación de las muestras de leño en el equipo de rayos X. E-Imagen radiográfica de las muestras de leño y de la cuña de calibración, análisis en los programas CRAD y CERD. F-Perfil radial de densidad aparente en las muestras de leño de *Cedrelinga cateniformis*.

3.10.4 **Montaje del perfil radial de la densidad aparente del leño:**

El análisis de la sección transversal del leño en las muestras fueron realizados por el programa CERD originándose un archivo de salida .PRZ (archivo reconocido por el programa Excel) conteniendo los valores puntuales de densidad. En Excel se diseñaron los respectivos gráficos de los perfiles de densidad aparente (Figura 9F), conforme realizado por (Mothe et al. 1998).

3.10.5 **Parámetros de densidad aparente del leño:**

A partir de los perfiles radiales de densidad aparente de leño, las densidades aparentes medias, máxima, mínima, fueron resultados, así como también el límite del anillo de crecimiento en el leño de los árboles de *C. cateniformis*.

3.10.6 **Análisis de regresión y correlación de los parámetros del ancho de los anillos de crecimiento y densitometría por rayos X, en el leño de los árboles de *C. cateniformis***

Las mediciones del ancho de los anillos de crecimiento en los árboles de *C. cateniformis*, obtenidas por la mesa de medición y por la densitometría de rayos X, fueron comparados, para obtener un coeficiente de correlación, con el fin de determinar la precisión de las dos metodologías en la identificación exacta del límite en los anillos de crecimiento.

4 RESULTADOS

4.1 Estructura anatómica del leño de *C. cateniformis*

4.1.1 Caracterización macroscópica del leño

Camadas de crecimiento distintas, individualizadas por zonas fibrosas transversales más oscuras precedidas por una disminución de la frecuencia de vasos. Poros visibles a simple vista, difusos predominantemente múltiples, ocurriendo también solitarios, ocasionalmente obstruidos por gomas de coloración amarilla-blanquecina, líneas vasculares rectilíneas en sección tangencial. Parénquima axial poco visible a simple vista, predominantemente vasicentrico, ocurriendo también, ocasionalmente aliforme losangular y unilateral. Radios visibles solamente sobre lupa 10x en la sección transversal y a simple vista en la sección tangencial, no estratificados, brillo contrastando la sección radial. Canales secretores axiales, maculas medulares y floema incluso ausentes.

4.1.2 Caracterización microscópica del leño

Vasos difusos, predominantemente múltiples, de contorno oval a circular con medias de 1,5 vasos /mm² y área de 9, 21 %, con diámetro próximo a 273 μm, pudiendo ser clasificados como grandes, apéndices ausentes, placa de perforaciones radio-vasculares, con areolas distintas semejantes a las intervasculares y de menor tamaño comparándolas, presencia de gomas raramente en el plano transversal. **Fibras** libriformes con paredes delgadas a espesas, teniendo una media de 1,33 mm para la longitud y 5,07 μm para la espesura de la pared. Lumen de las fibras con media de 16,30 μm. Septos y puntuaciones ausentes. Parénquima axial predominantemente paratraqueal vasicentrico, de 6 a 8 células de parénquima por serie. Parénquima axial apotraqueal difuso visualizado ocurre nte frecuentemente en el eje longitudinal, formado generalmente por serie. **Radios** homogéneos, formados exclusivamente por células procumbentes, bi seriadas en predominancia (72%), ocurriendo también triseriados (16%) y uniseriados (12%), raramente fusionados, con altura entre 230 y 340 μm. (Figura 10)

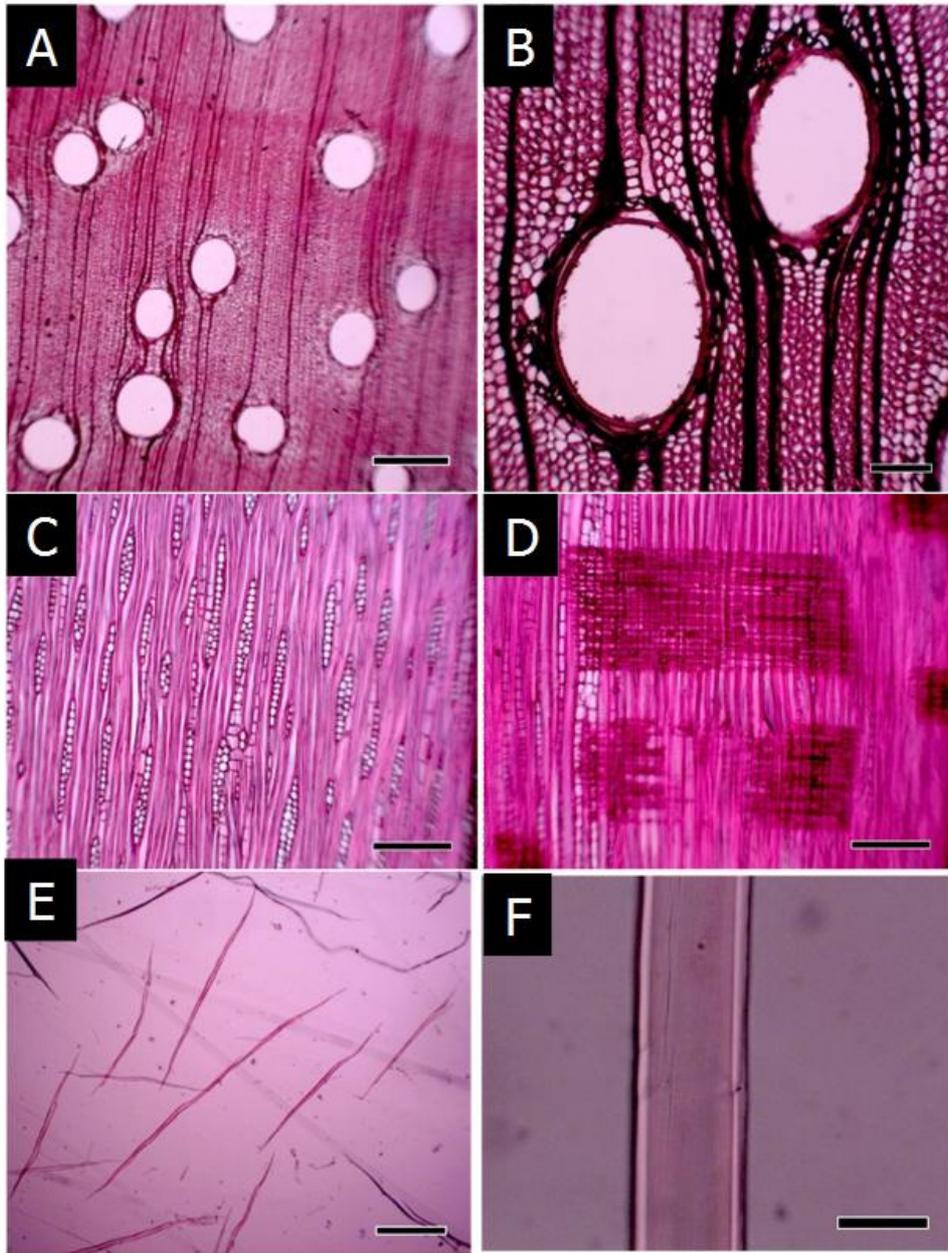


Figura 10 Anatomía microscópica de leño de *Cedrelinga cateniformis*. Plano (A) transversal (25x), B (100x), (C) tangencial (100x), (D) radial (100x), (E) longitud (25x) y (E) ancho de fibras (400x)

4.1.3 **Caracterización de los anillos de crecimiento**

El leño de los árboles de *C. cateniformis* examinados en la sección transversal evidenciaron anillos de crecimiento distintos, demarcados por una zona fibrosa marcada por serie de filas de fibras con un diámetro radial corto y paredes espesas con una menor frecuencia de vasos (Figura 11). Los anillos en árboles de *C. cateniformis* ya mostraban un potencial desde las primeras investigaciones realizadas en la zona, donde fue ampliamente estudiada por Schwyzer (1988) donde caracterizo 4 especies forestales, realizando un análisis de sus respectivos anillos de crecimiento.

Asimismo la estructura anatómica de los anillos de crecimiento de *C. cateniformis* fue descrita por (Vetter & Botosso 1989, FAO-PAFBOL 1995, Moya et al. 2007, Brienem & Zuideman 2005, Richter & Dallwitz 2001) que determinarán que el límite de anillos de crecimiento son distintos, demarcados por zonas de madera tardía algo más oscuras, con un promedio de 14 anillos/10 cm de radio, coincidiendo con los resultados obtenidos con la literatura.

Las comparaciones de las muestras del leño de los árboles de *C. cateniformis* (Figura 12) revela una variabilidad caracterizada por la secuencia de anillos de crecimiento más anchos y estrechos. Esa variabilidad de incremento radial indica la sensibilidad de los árboles de *C. cateniformis* las condiciones locales de crecimiento así como climáticas. Los anillos de crecimiento en el leño de los árboles presentan un potencial para la aplicación como identificadores anuales de eventos climáticos (Rosero 2009, Moya 2005, Cook, 1989; Fritts, 1976; Keannel; Schwiengruber, 1994; Lisi et al. 2008; Tomazello Filho et al., 2001 ; Botosso et al., 2001).

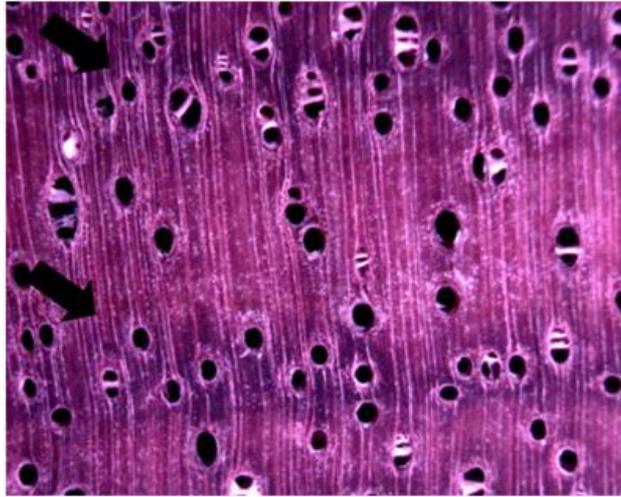


Figura 11 Anatomía macroscópica del leño de *C. cateniformis*.

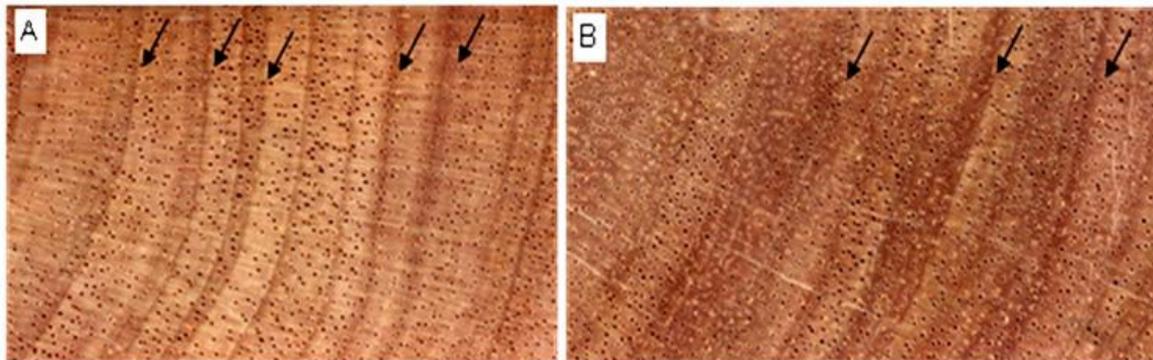


Figura 12 Diferencia del ancho de los anillos de crecimiento de *C. cateniformis*. (A) árboles del bosque del C.I.J.H.; (B) árboles de la plantación 401-74

4.1.4 Análisis estadístico en la estructura anatomía del leño

El análisis de los árboles de *C. cateniformis* muestra que la longitud de las fibras aumenta estadísticamente ($p < 0,05$) en el sentido medula-corteza en la plantación 401-74 y en el bosque del C.I.J.H.; asimismo se observa que no existe diferencia significativa entre la medula y el centro del radio (Figura 13B, 14B) para los árboles del bosque y de la plantación; entre el centro y la corteza se observa que la longitud de las fibras tiende a estabilizar coincidiendo con estudios de otras especies tropicales, como Costa Rica (Moya 2005), India (Pearson & Brown, 1932), Nigeria (Akachuku & Burley, 1979) y Ghana (Ohbayashi & Shiokura, 1989).

La espesura de las fibras en árboles de *C. cateniformis* para el bosque muestra una disminución en la corteza en comparación con la medula (Figura 13D); en árboles de la plantación 401-74 se observa un aumento en la espesura de la pared (Figura 14D) predominantemente en el área cerca a la corteza, esto puede explicarse por las diferencias de competencia que presenta cada sitio (agua, nutrientes, luz, etc.), donde los árboles de plantaciones crecieron bajo las mismas condiciones. El incremento de la espesura de la pared de las fibras en el sentido medula-corteza fue, también, estudiado por otros investigadores (Hughes & Esan, 1969, Akachuku & Burley, 1979; Ohbayashi & Shiokura 1989; Frimpong-Mensah, 1992 y Moya 2005). Plomion et al., 2001 citado por Moya 2005 sostiene que recientemente se estableció que los cambios en las dimensiones de los elementos anatómicos en el leño ocurren en función del envejecimiento de las células del cambio vascular resultando en modificaciones fisiológicas y moleculares.

Con respecto a los elementos de vaso se observó aumento significativo en el sentido medula-corteza para los árboles de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H., para porcentaje y diámetro y frecuencia de vasos (Figuras 13A, 13C, 13E). En los árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 se puede verificar lo contrario, o sea, disminución en el porcentaje de vasos, diámetro y frecuencia de vasos (Figuras 14A, 14C, 14E) en el sentido medula-corteza. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la medula y corteza para las muestras de leño analizadas del bosque, tanto en diámetro, porcentaje y frecuencia de vasos (Anexo, Cuadro 12), para las muestras de leño de los árboles de la plantación 401-74 se encontraron diferencias significativas entre el porcentaje de vaso de la medula y corteza y medula-corteza, corteza (Figura 14A), también se encontraron diferencias entre el diámetro de vasos entre la medula y corteza, entre la sección medula-corteza y corteza.

El aumento en el diámetro de vasos con la edad (Figura 15) fue observado en árboles de *Gmelina arborea* (Roxb.) en Costa Rica (Moya 2005), en árboles de 13 años de Malasia (Nobuchi et al., 1997) contradictoriamente a árboles observados en Japón con un incremento en diámetro de los vasos de la medula, estabilizándose hasta la corteza (Ohbayashi & Shiokura, 1989). Disminución en la frecuencia de vasos en el sentido medula-corteza fueron observados en Malasia por Nobuchi et al., (1997), en Ghana y Japón, por Frimpong-Mensah (1992), Ohbayashi & Shiokura (1989) y Moya (2005), reportándose una disminución de hasta 2 cm en la medula, siguiendo una estabilización en la frecuencia de vasos. Asimismo el área ocupada por los vasos en árboles de *Gmelina arborea* mostro un aumento en el sentido radial del tronco, fue la principal fuente de variación, correlacionando con la tasa de incremento (cm/año) del tronco. (Moya, 2005; Akachuku, 1985a). Moya (2005) sostiene que en el análisis variación de la dimensión y la frecuencia de vasos en el xilema de los árboles, existe la necesidad de considerar los aspectos teóricos de flujo ascendente de savia mineral. Los vasos, como elementos del sistema vascular, presentan padrones de variación caracterizados por la disminución de su diámetro y de la frecuencia con la altura del tronco de los árboles, aumento de su diámetro y disminución de la frecuencia con la edad de los árboles (Zimmermann, 1974).

El análisis de variación radial de la espesura de la pared de las fibras en árboles de *C. cateniformis* presento diferencia significativa (Figura 15D), se encontró una menor espesura de la pared en las muestras de la plantación 401-74, asimismo la longitud de fibras en los árboles de ambos sitios presento diferencia significativa (Figura 15B), las longitud de fibras fue mayor en los árboles de plantación. Las variaciones de las dimensiones de fibras en las especies tropicales son menos entendidas (Larson, 1994; Roberts & Mc Cann, 2000; Arend & Fromm, 2003), los resultados de las investigaciones indican que los árboles presentan mecanismo fisiológicos de adaptación a diversas condiciones climáticas y de localización geográfica en lo que se refiere a las dimensiones de los elementos anatómicos, como las fibras (Villar et al., 1997; Moya 2005).

El diámetro de vasos en árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 y el bosque en el C.I.J.H. mostraron diferencias significativas, los resultados muestran que los elementos de vasos del leño de árboles de *C. cateniformis* del bosque en el C.I.J.H. presentaron mayor diámetro (Figura 15C). El porcentaje de área de vasos fue mayor en el leño de árboles de plantación que en los del bosque, presentando diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los sitios (Figura 15A), a pesar de mostrar diferencias entre el diámetro y porcentaje de vasos entre los dos sitios, la frecuencia de vasos no presentó diferencia significativa.

Los vasos son considerados como uno de los elementos anatómicos del xilema de los árboles con mayor capacidad de adaptación a las condiciones ecológicas del sitio, representada por la disponibilidad de agua en el suelo (Zimmerman 1974, 1982; Baas et al., 1983; Carlquist, 1984).

Los resultados de las investigaciones sobre el efecto de las condiciones ecológicas indican un aumento del diámetro, frecuencia y porcentaje de los vasos con una reducción en la precipitación (Bissing, 1982; Baas et al., 1983; Carlquist, 1984; Moya, 2005). Las alteraciones adaptativas de los vasos en el xilema son atribuidas a la necesidad de los árboles de un sistema vascular eficiente y seguro para el flujo de savia mineral (Bissing, 1982; Baas et al., 1983).

Por lo tanto, el mayor porcentaje de los vasos en árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 podría ser el resultado de un crecimiento mayor en comparación a los árboles del bosque, antecedentes de crecimiento en Tingo Maria e Iquitos en *C. cateniformis* hacen una proyección a los 30 años donde los cálculos demuestran un volumen aprovechable de $870 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, para 400 árboles, asimismo en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera, Schwyzer (1981) en condiciones de productividad máxima posible con una densidad de siembra alta de $2 \times 2 \text{ m}$, a campo abierto proyecta el crecimiento en plantaciones de esta especie obteniendo a los 30 años un volumen de $872 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, además sostiene que entre los 30 y 40 años producirán más de $800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, valores mucho mayores de lo que se observa

en bosque natural con volúmenes de hasta 300 m³ha⁻¹. *C. cateniformis* logra producir en plantaciones un promedio de 15 a 20 m³ha⁻¹año⁻¹, en comparación con el bosque natural donde se encuentran incrementos de hasta 1 m³ha⁻¹año⁻¹ Schwyzer (1981), esto indicaría que los árboles de la plantación presentan diferencias en su xilema, con porcentaje y diámetro de vasos mayores dependiendo de las condiciones de cada sitio así como de la disponibilidad de agua (Baas et al., 1983) Existen otras especies forestales que han sido estudiadas, relacionando los elementos anatómicos en el leño con la tasa de crecimiento del tronco, en *Alnus rubra* (Lei et al., 1997) la tasa de crecimiento del tronco afecto de forma positiva la longitud de las fibras, diámetro de vasos y negativa para la espesura de la pared, concordando con los resultados obtenidos con los árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74.

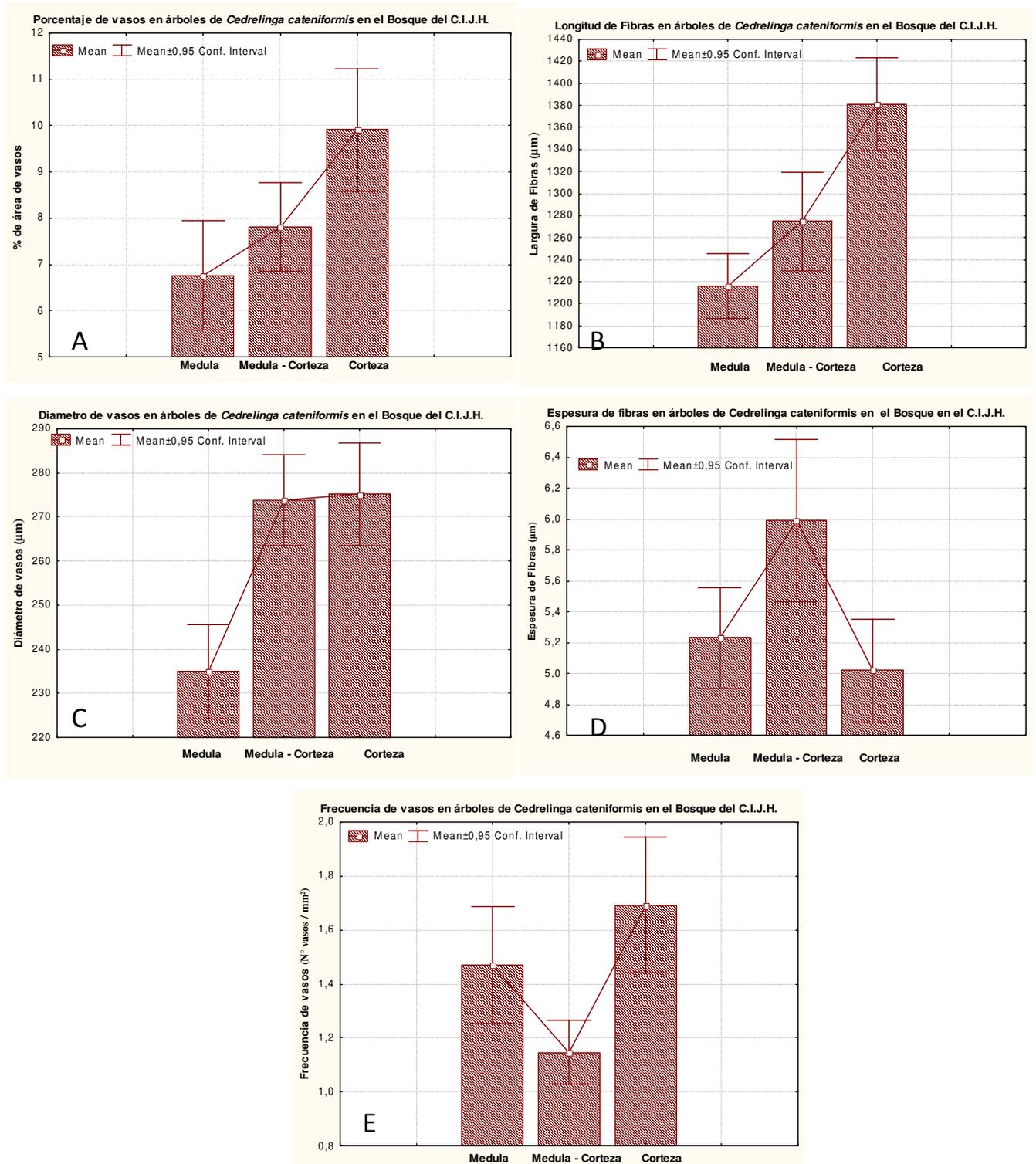


Figura 13 Dimensiones de los elementos del leño (medula, medula-corteza, corteza) de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H. (A) porcentaje de vasos; (B) longitud de las fibras; (C) diámetro de vasos; (D) espesura de la pared de las fibras; (E) frecuencia de vasos.

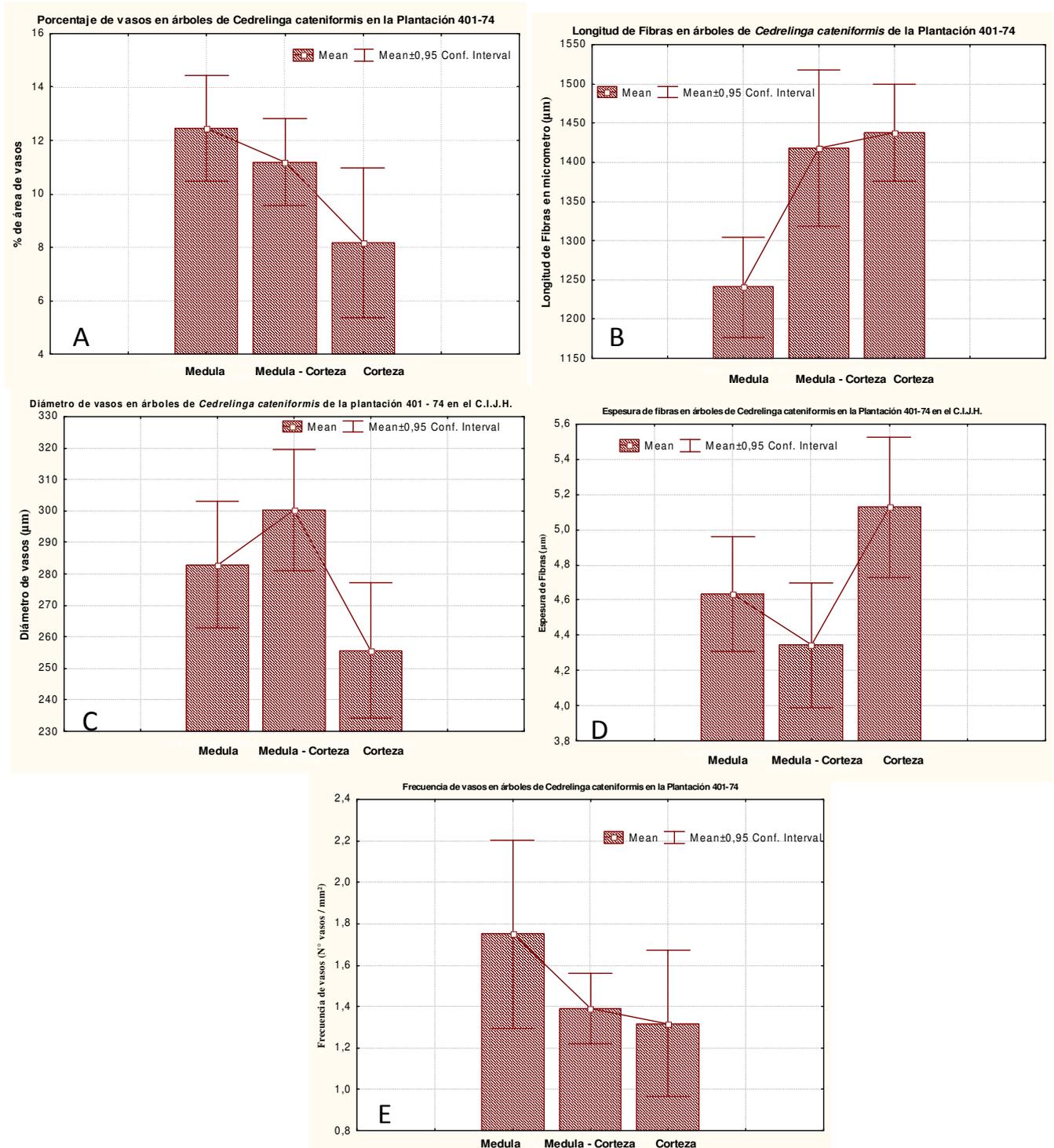


Figura 14 Dimensiones de los elementos del leño (medulla, medula-corteza, corteza) de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 del C.I.J.H. (A) porcentaje de vasos; (B) longitud de las fibras; (C) diámetro de vasos; (D) espesura de la pared de las fibras; (E) frecuencia de vasos.

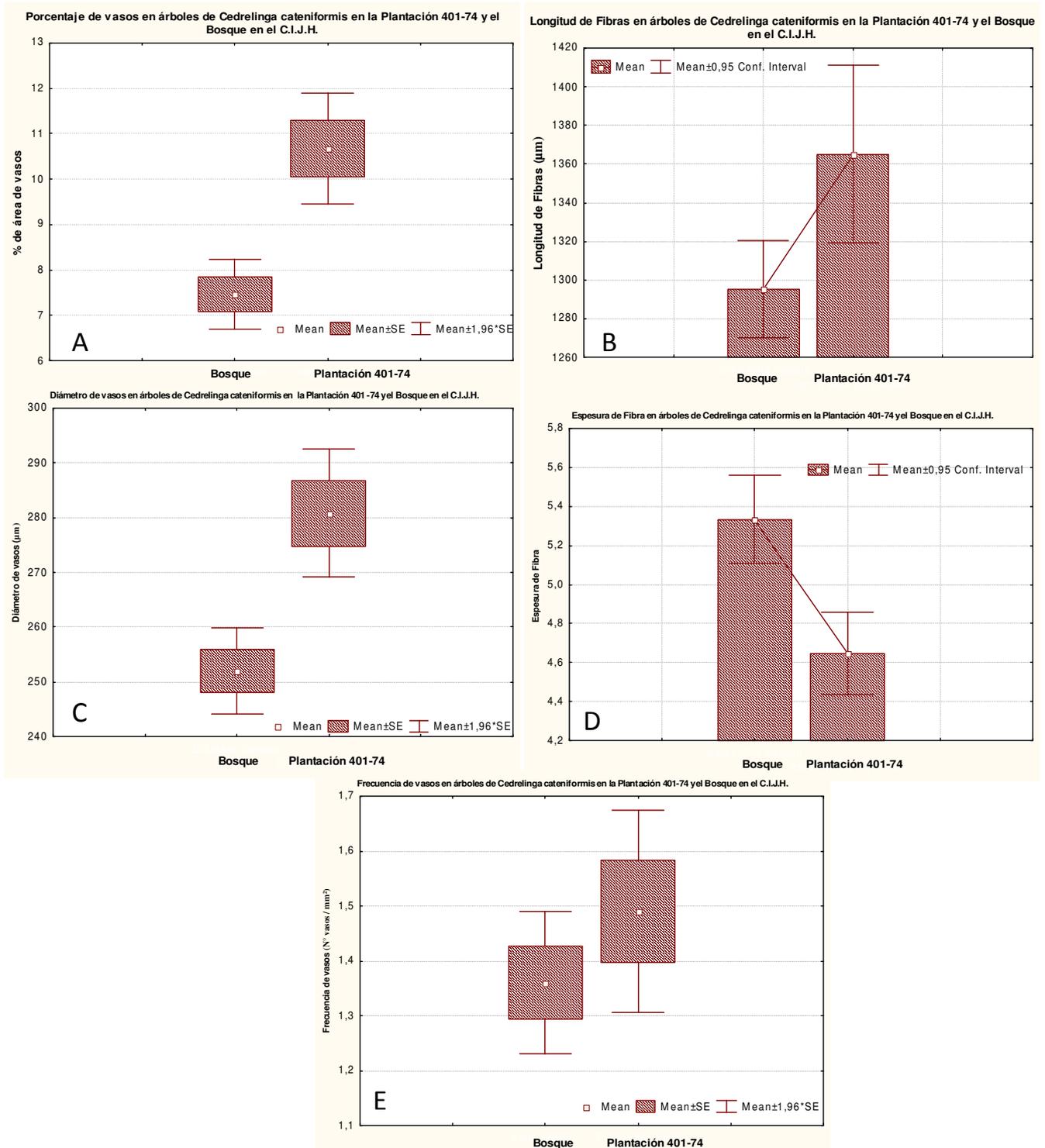


Figura 15 Dimensiones de los elementos del leño (medula, medula-corteza, corteza) de *C. cateniformis* en el bosque y la plantación 401-74 del C.I.J.H. (A) porcentaje de vasos; (B) longitud de las fibras; (C) diámetro de vasos; (D) espesura de la pared de las fibras; (E) frecuencia de vasos.

4.2 Aplicación de la dendrocronología en la tecnología de la madera

La estructura anatómica del leño de cada especie se relaciona con el modelo de perfil en la variación de la densidad, siendo este resultado en la obtención de valores de densidad del leño a cada 50 μm (Walker & Dodd, 1988; Chagas, 2009). Consecuentemente los perfiles radiales de densidad aparente en el leño de los árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 y del bosque en el C.I.J.H. (Figura 16, 17, 18, 19, 20) permiten cuantificar ciertos parámetros para determinar la calidad de la madera, así como sus diferencias entre sitios y árboles.

Los perfiles de densidad aparente del leño de los árboles en *C. cateniformis* en los dos sitios, muestran una tendencia en los valores de densidad aparente desde la medula hasta la corteza, con reducción de los valores cerca a la corteza (Figura 16). Asimismo los valores de densidad aparente del leño presentan una reducción en la región de albura en comparación a la región del duramen, debido a un mayor porcentaje de madera adulta y disposición de extractivos en la región de albura. Vital (1984) sostiene que el aumento en la densidad en el leño de los árboles, puede estar en relación a su edad, esto se sustenta con las variaciones en la estructura anatómica y composición química, en el sentido radial, como también el aumento de la espesura celular, disminución del ancho de las células, disposición de extractivos, etc. Koga (1988) sostiene que alguna de las principales características de la madera juvenil en foliosas son la presencia de una menor densidad, una menor largura de las fibras y vasos, menor diámetro celular, mayores proporciones de fibras y menores proporciones de vasos, paredes celulares más finas, entre otras.

Los valores de densidad aparente media, mínima y máxima del leño de los árboles de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H. fueron de 0,70; 0,32; 1,12 g/cm^3 (Tabla 2 y 3) y para la plantación 401-74 fueron de 0,58, 0,30 y 0,89 g/cm^3 (Tabla 4), las diferencias de densidad media en el leño en los árboles de *C. cateniformis*

entre la plantación 401-74 y el bosque del C.I.J.H. se deben probablemente a la diferencia de edades. Estas diferencias mostraron ser significativas ($p < 0,005$).

Los árboles de *C. cateniformis* procedentes de la plantación 401-74 mostraron diferencias en el perfil densitométrico entre árboles, teniendo una diferencia entre el perfil radial densitométrico obtenido del borde de la plantación (Figura 19), en comparación con los árboles del centro y entre el centro-borde de la plantación (Figura 17 y 18). Asimismo los perfiles radiales de densidad en árboles de *C. cateniformis* del bosque del C.I.J.H. no mostraron una tendencia común (Figura 20). El análisis de las densidades medias de cada sitio mostro una diferencia significativa, pudiéndose observar una mayor densidad en árboles del bosque que de la plantación (Figura 21), pudiéndose deber a condiciones de competición, así como en el crecimiento de los árboles analizados, en general, para la mayoría de las especies forestales ocurre un aumento entre la densidad media de la madera con la edad de los árboles (Zobel & Van Buitenen, 1988) y principalmente durante la formación de madera juvenil (Zobel 1984) siendo esta tendencia también detectada en los árboles del bosque en el C.I.J.H.

También se puede observar en el análisis anatómico del leño de los árboles *C. cateniformis* de ambos sitios diferencias significativas: los árboles de la plantación muestran un mayor porcentaje y diámetro de vasos (Anexo, Tabla 13) en comparación con los árboles del bosque; también se puede observar diferencias significativas en la espesura de la pared de los árboles del bosque, con mayor espesura en relación as de la plantación, influenciando de esta manera en la densidad del leño. Esto demuestra que los árboles de *C. cateniformis* son influenciados significativamente por la edad, condiciones de sitio, así como el nivel de competición que se podría presentar durante el crecimiento. Los árboles se adaptan a sus procesos fisiológicos para condiciones de menor disponibilidad de agua en el suelo, con un reflejo en la actividad cambial y en la anatomía del leño (Villar et al., 1997), siendo comprobado por las altas correlaciones entre las condiciones de crecimiento y las características de la madera.

Las variaciones en las dimensiones de los diferentes elementos anatómicos en los anillos de crecimiento está condicionada con la edad de los árboles, del ambiente en las fases de su ciclo de crecimiento, genética así como las condiciones de manejo (Zobel & Van Buijtenen, 1988), las variaciones de densidad son influenciadas por la distribución, porcentaje y dimensiones de los elementos anatómicos (Wang et al., 2002). El análisis del leño de los árboles de *C. cateniformis* mostro claramente que la densidad expresa las proporción de vasos y las dimensiones de las fibras (Anexo, Tabla 11 y 12), asimismo la espesura de las fibras se constituye más una variable que afecta estadísticamente las variaciones de densidad de la madera (Figura 15D).

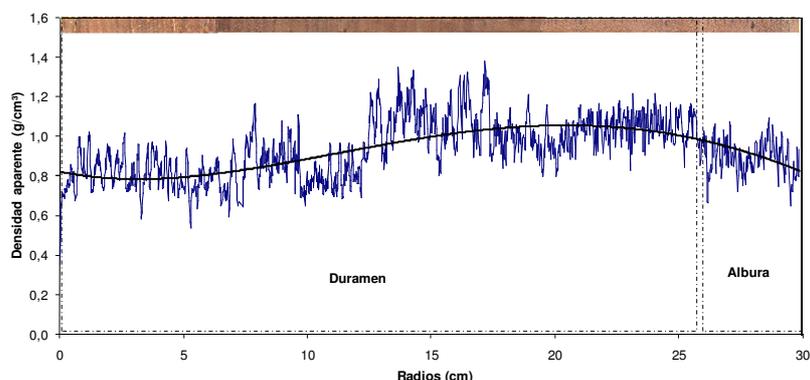


Figura 16 Perfil radial de densidad aparente del leño de árboles de *C. cateniformis*, con tendencia de crecimiento y diferenciación de duramen y albura.

Tabla 2 Densidad aparente del leño de árboles de *C. cateniformis* del bosque en el C.I.J.H.

Muestras	Densidad	Densidad	Densidad	Desvio
	Media (g/cm ³)	Máxima (g/cm ³)	Minima (g/cm ³)	Padrón de densidad
T10-5	0,91	1,38	0,35	0,15
T5-TE6	0,73	1,03	0,44	0,09
T03-TC1	0,61	1,20	0,14	0,11
T03-TB1	0,53	0,85	0,13	0,07
T02_(TH)	0,47	0,83	0,22	0,12
T031_31_3	0,88	1,23	0,51	0,11
TB6ABC	0,73	1,03	0,34	0,10
T005_TD	0,87	1,33	0,48	0,14
T13_2	0,52	1,17	0,19	0,15
T18_5	0,77	1,17	0,41	0,12
Promedio	0,70	1,12	0,32	0,12

Tabla 3 D.A.P., edad, densidad aparente en el leño de árboles de *C. cateniformis* del bosque en el C.I.J.H.

Árbol	DAP (cm)	Período		Edad	Densidad (gr/cm ³)
T005 (TE6)	100	1964	2007	44	0,7267
T31 (31_3)	76,5	1951	2007	57	0,88
T06 (TB_6)	78	1925	2007	83	0,73
T13_2	95	1948	2007	60	0,52
T18_5	50,5	1957	2007	51	0,77
T10_5	110	1943	2007	65	0,91
T02 (TH)	40,2	1982	2007	26	0,47
T03 (TB_1)	52	1996	2007	12	0,53

Tabla 4 Densidad aparente del leño de árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 del C.I.J.H..

N° Radios	Árbol	Densidad media (g/ cm ³)	Densidad máxima (g/ cm ³)	Densidad mínina (g/ cm ³)	Desvio padrón	Ubicación
1	47-1	0,560	0,971	0,175	0,115	Borde
2	19-1	0,649	1,106	0,290	0,149	Borde
3	35_1	0,602	1,126	0,241	0,153	Borde
4	9_1	0,514	0,870	0,148	0,116	Borde
5	9_4	0,621	0,982	0,228	0,381	Borde
6	29_7	0,564	0,992	0,249	0,081	Centro
7	51_8	0,582	1,130	0,138	0,135	Centro
8	7_3	0,636	0,636	0,636	0,636	Centro
9	51_6	0,442	0,897	0,138	0,106	Centro
10	49_5	0,588	1,021	0,161	0,110	Centro
11	25_5	0,586	0,930	0,237	0,116	Centro
12	29_9	0,524	0,489	0,489	0,489	Cerca del Borde
13	61_7	0,469	0,881	0,129	0,118	Cerca del Borde
14	29_4	0,838	0,838	0,838	0,838	Cerca del Borde
15	25_8	0,611	0,985	0,300	0,124	Cerca do borde
16	61-3	0,543	0,543	0,543	0,543	Cerca do borde
Promedio		0,583	0,897	0,304	0,254	

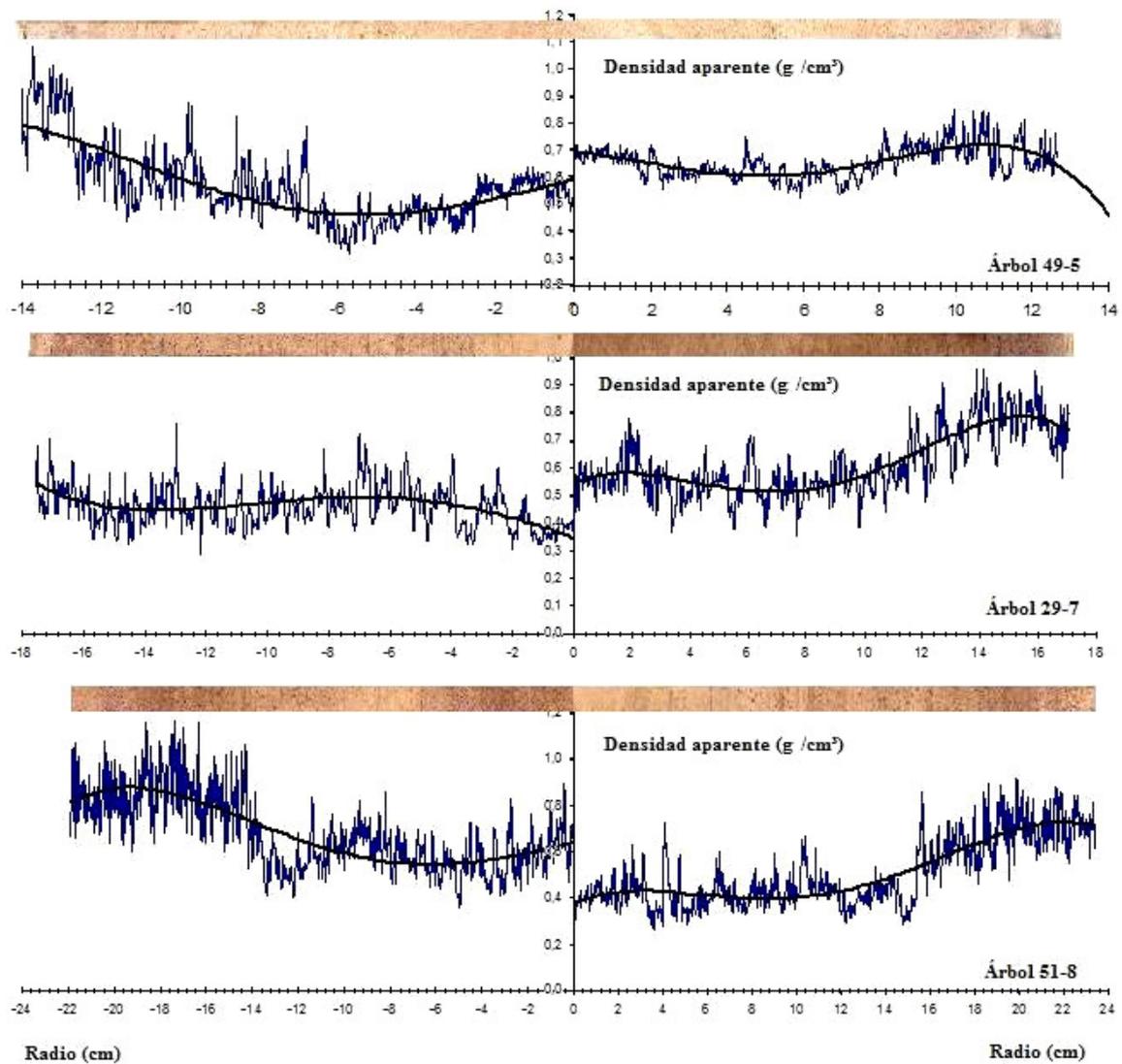


Figura 17 Perfil radial de densidad aparente en el leño en árboles de *C. cateniformis* en el centro de la plantación 401-74 del C.I.J.H.

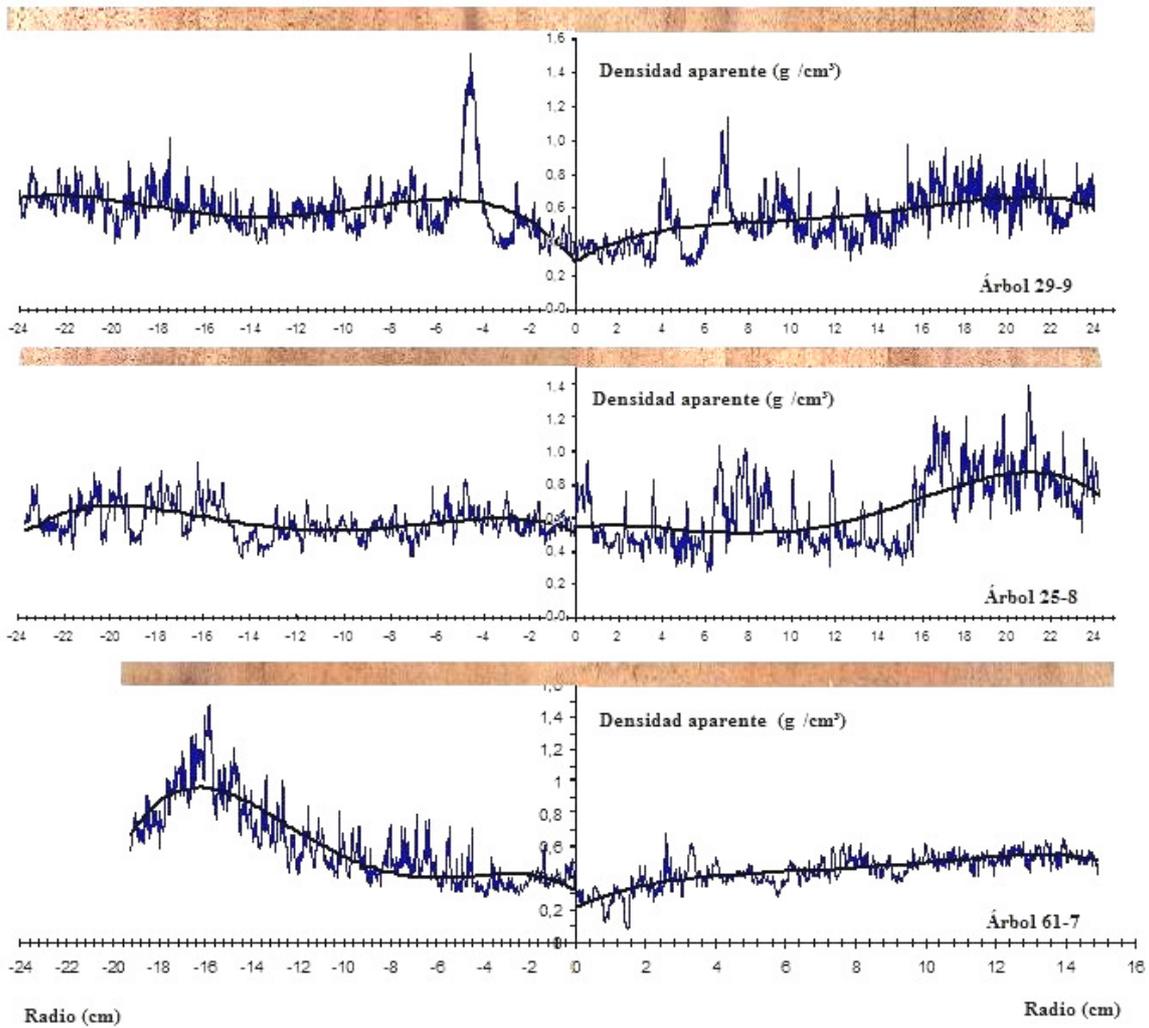


Figura 18 Perfil radial de densidad aparente en el leño en árboles de *C. cateniformis* entre el borde-centro de la plantación 401-74 del C.I.J.H.

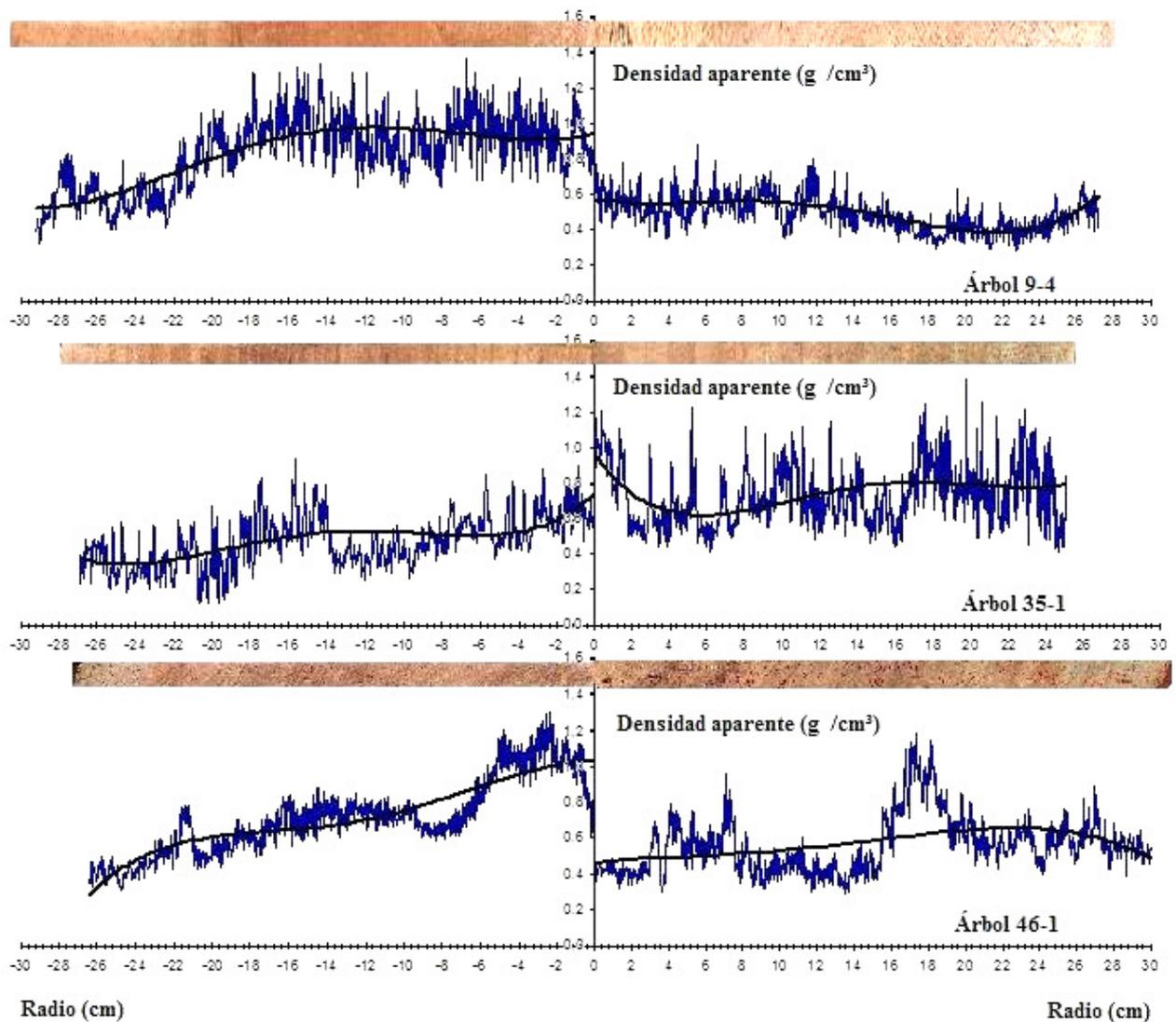


Figura 19 Perfil radial de densidad aparente en el leño en árboles de *C. cateniformis* en el borde de la plantación 401-74 del C.I.J.H.

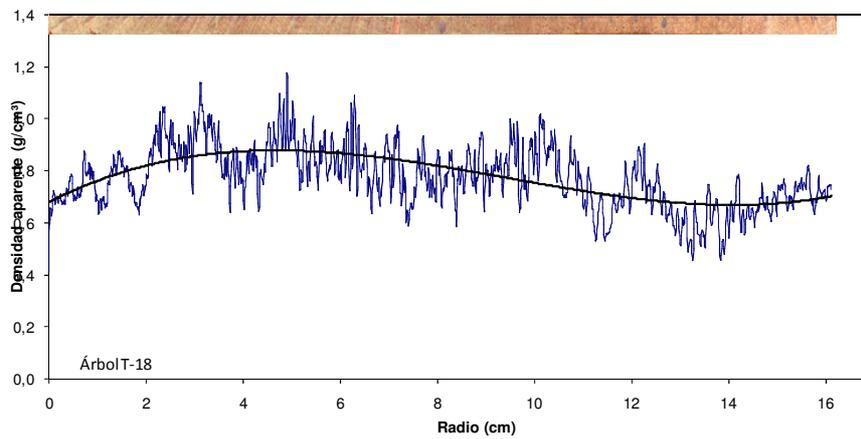
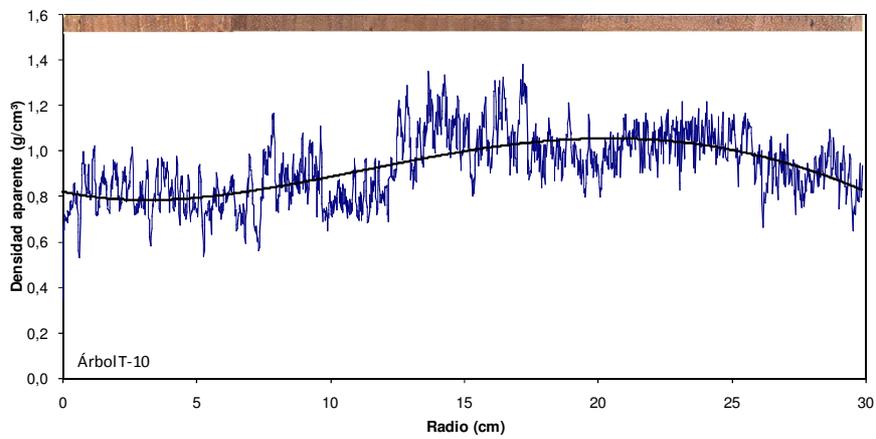
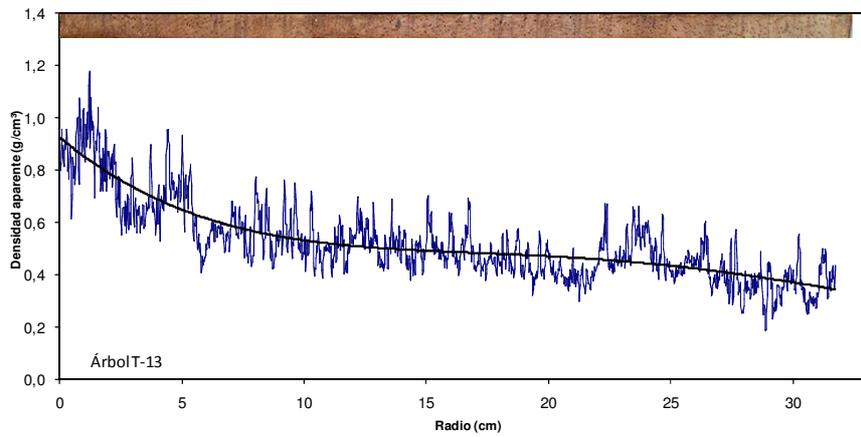


Figura 20 Perfil radial de densidade aparente en el leño en árboles de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H.

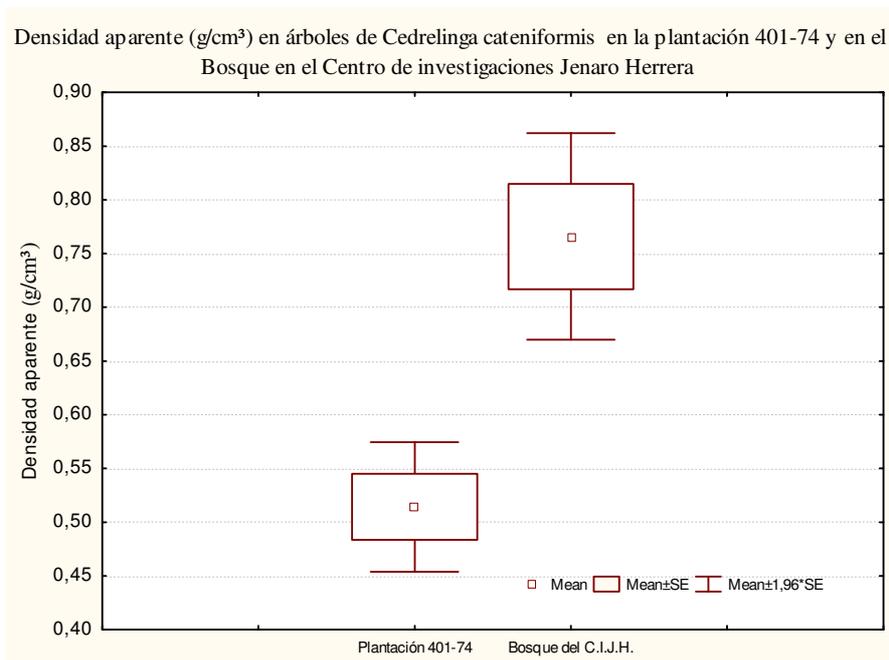


Figura 21 Medias en la densidad aparente del leño en árboles de *C. cateniformis*

4.3 Demarcación y validación del ancho de los anillos de crecimiento por densitometría de rayos X

El perfil radial de densidad aparente del leño en árboles de *C. cateniformis* se caracteriza por un aumento en los valores de densidad coincidiendo con la demarcación en el límite de los anillos de crecimiento, en función de la demarcación por una zona fibrosa caracterizada por una serie de fila de fibras con un diámetro radial corto y paredes espesas y una menor frecuencia de vasos, estas características en la anatomía tienen un efecto mediante el aumento significativo de la densidad aparente en la zona que forma el final de la región de crecimiento (Figura 22).

La demarcación de los anillos de crecimiento en el leño de los árboles de *C. cateniformis* a través del perfil radial de densidad puede representar una mayor precisión al ser comparado con la imagen de la respectiva sección transversal pulida, por la visualización de los anillos de crecimiento. Esta metodología en la delimitación de los anillos de crecimiento ya fue ampliamente aplicada por

diversos investigadores (Vetter & Botosso 1989; Tomazello Filho et al., 2001; Tomazello et al., 2008; Chagas, 2009; Rosero, 2009) para el leño en árboles de diferentes especies presentes en los trópicos, como *Swietenia microphylla*, *Cedrela odorata*, entre otras.

Los resultados en la variación de las densidades máximas, mínimas, y medias de los anillos de crecimiento en relación a la edad de 5 árboles en la plantación 401-74 y 5 en el bosque de el C.I.J.H. se muestran en la figura 23 y 24; se pudo observar mayores variaciones en la densidad aparente en el leño de los árboles en ambos sitios y una estabilización de las densidad a media que aumentaba la edad. Zobel & Van Buitenen (1988) sostienen que para la mayoría de las especies forestales ocurre un aumento de la densidad media de la madera en relación con la edad de los árboles, principalmente, durante la formación de madera juvenil (Zobel, 1984) siendo esta tendencia también detectada en los árboles de *C. cateniformis*.

Moya (2005) sostiene que existen varias investigaciones realizadas en diferentes regiones mostrando el mismo comportamiento radial de densidad del leño, como en Tailandia (Zeeuw & Gray, 1972), Nigéria (Akachuku & Burley, 1979; Hughes & Esan, 1969, Akoun et al., 1985), Ghana (Frimpong-Mansah, 1992), Malasia (Nobuchi et al., 1997), Venezuela (Espinosa, 2004), Perú (Rosero, 2009), Brasil (Chagas, 2009; Lisi et al., 1999). Brienem (2005) determino que *C. cateniformis* es una especie de rápido crecimiento, asimismo (Akachuku & Burley, 1979; Nobuchi et al., 1997; Ohbayashi & Shiokura, 1989) encontraron que el mayor crecimiento de los árboles ocurre en los primeros años, notándose que las variaciones más altas en las densidades para los árboles de *C. cateniformis* ocurre en los primeros años hasta encontrar una estabilización.

Se observa que para los arboles de *C. cateniformis* del bosque en el C.I.J.H., presentan una estabilización a partir de los 33 años de crecimiento, el aumento de la edad en árboles esta generalmente acompañada con una reducción de las

regiones de baja densidad en el leño y de una distribución más uniforme de esta, dentro del anillo de crecimiento (Akachuku, 1985) explicando la variación dentro de los anillos (coeficiente de variación) con la edad de los árboles.

Determinar las variaciones dentro de los anillos de crecimiento permite establecer el grado de uniformidad de la madera (Akachuku, 1985 y Echols, 1973), por lo que se convierte en una información importante para la tecnología y los procesos de utilización de la madera. Olson & Arganbrighth (1977) describieron que especies forestales con baja uniformidad en la densidad dentro de los anillos de crecimiento, presentaban limitaciones en el desdoble, secado, colado, y en el acabamiento final de la madera. La obtención de madera con una mejor uniformidad para la densidad (Echols, 1973) en árboles más viejos, debe ser analizada, para obtener maderas con una mayor índice de aprovechamiento, utilización y de mayor valor en el mercado, aumentando de esta forma su uso.

El ancho de los anillos de crecimiento en los árboles de *C. cateniformis*, obtenidas a través del perfil radial en la densidad aparente del leño y de la mesa de medición Velmex, fueron correlacionadas. El análisis de regresión en las medidas del ancho de los anillos de crecimiento mostro un valor de coeficiente de determinación para los árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 ($r^2 = 0,9561$, $p < 0,05$) y para el bosque en el C.I.J.H. ($r^2 = 0,9283$ $p < 0,05$) siendo altamente significativas. De esta manera, la densitometría de rayos X se convierte en una herramienta importante para determinar exactamente el límite de los anillos de crecimiento y en la identificación de anillos falsos, como potencial para estudios dendrocronológicos.

Para los árboles de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H no se encontraron correlaciones entre el ancho de los anillos de crecimiento (edad de los árboles) y los respectivos valores de densidad aparente ($r^2 = 0,3532$; $p = 0,1203$), del mismo modo en árboles de la plantación 401-74 no se encontraron correlaciones entre el diámetro de los árboles y los valores de densidades obtenidas ($r^2 = 0,0946$; $p = 0,0768$), en los árboles en el borde ($r^2 = 0,0286$; $p = 0,5996$), en el centro ($r^2 =$

0,0046; $p = 0,8253$) y entre el centro – borde ($r^2 = 0,2452$; $p = 0,1456$), determinándose que las variables respuestas de densidad aparente en el leño de los anillos de crecimiento son independientes a la edad de los árboles y al diámetro. La inexistencia de correlaciones entre la edad de los árboles y la densidad aparente en el leño de los anillos de crecimiento fue corroborada por diversos autores, como Medeiros (2005) y Rosero (2009).

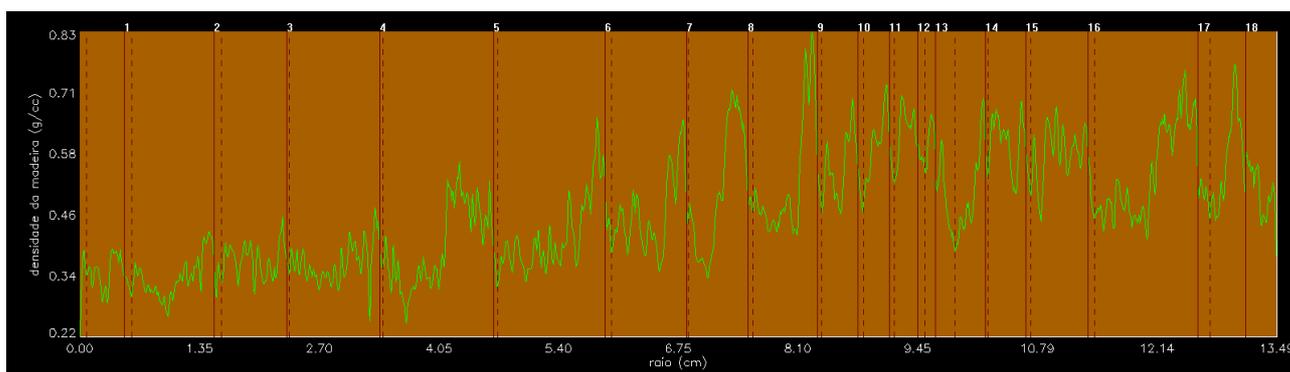


Figura 22 Demarcación en el límite de los anillos de crecimiento en árboles de *C. cateniformis* en el perfil densitométrico.

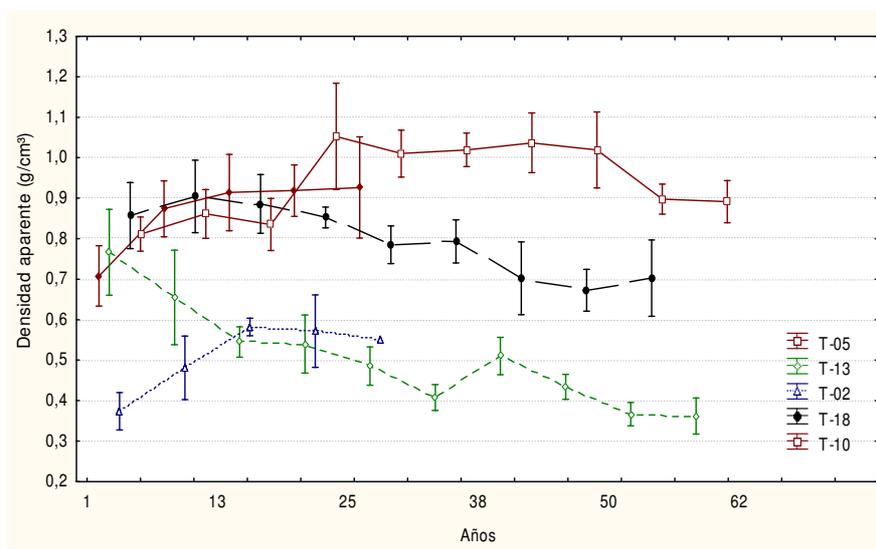


Figura 23 Perfil radial de densidad aparente de los anillos de crecimiento en el leño de 5 árboles de *C. cateniformis* en árboles del bosque de C.I.J.H.

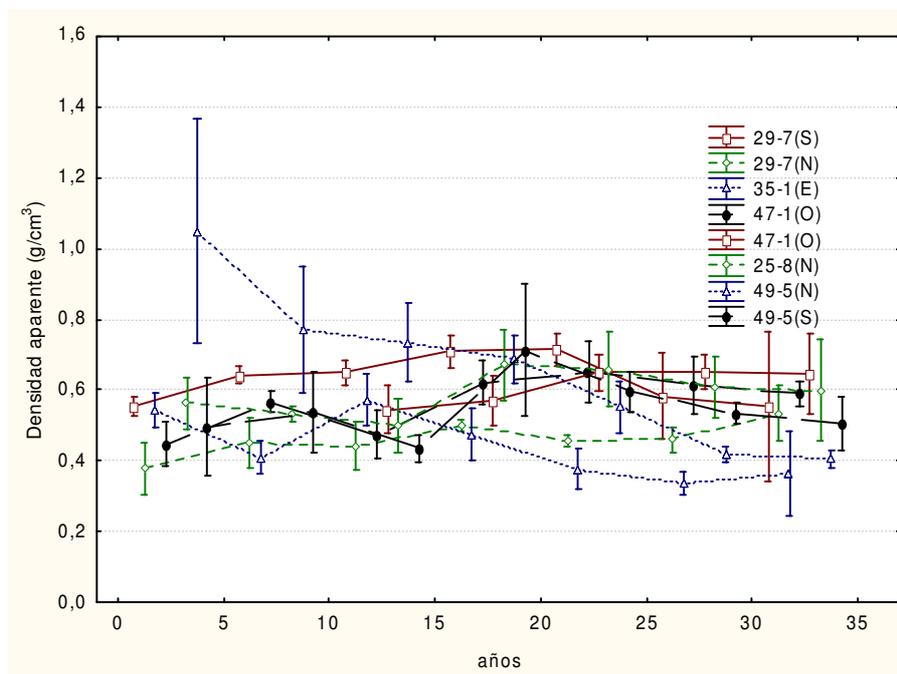


Figura 24 radial de densidad aparente de los anillos de crecimiento en el leño de 5 árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 del C.I.J.H.

4.4 Análisis dendrocronológico en los anillos de crecimiento

4.4.1 Control de calidad de las series en anillos de crecimiento

Mediante el análisis del leño de los 35 árboles de *C. cateniformis*, que fueron muestreados en la plantación 401-74 y el bosque en el C.I.J.H., se realizaron las mediciones en el ancho de los anillos de crecimiento de 72 muestras de leño, de esta manera se construyeron las respectivas series cronológicas (Fritts, 1976).

Después de obtener los valores radiales en el ancho de los anillos de crecimiento (series obtenidas en la mesa de medición Velmex) de los árboles de *C. cateniformis*, se procedió a una sincronización por la aplicación del software COFECHA (Holmes, 1986; Grissino-Mayer, 2001), permitiendo realizar el control

en la calidad, sincronizando cada radio medido con la serie maestra (promedio de las series individuales) y permitiendo determinar errores en la medición y identificación de anillos de crecimiento falsos y ausentes.

Consecuentemente las tendencias de crecimiento (ruido) fueron excluidas de cada serie de anillos de crecimiento, mediante el ajuste de una función de remoción en la tendencia de crecimiento de los árboles tanto de la plantación analizada como del bosque, en la cual cada valor de la serie fue dividida por su valor correspondiente en la curva spline obtenida, con un valor límite de respuesta-frecuencia de 50% y una longitud de serie pre-determinada de 32 años correlacionando segmentos de 20 años en intervalos de 10 años. Asimismo cabe recalcar que este procedimiento en dendrocronología es considerado como conservador, teniendo como objetivo mantener el máximo posible de señales de baja frecuencia, como un ejemplo a citar señales climáticas.

La identificación de los errores de medición, posiblemente por causa de anillos de crecimiento falsos o ausentes, evidenciados por las bajas correlaciones entre las series y altas correlaciones en posiciones no datadas dentro de la series de anillos de crecimiento, consecuentemente que no daban un buen ajuste a la serie maestra, fueron excluidos del análisis por no llegar al nivel de correlación crítico de significancia (Pearson 99%). Así la señal común de las series restantes fue maximizada formando una serie maestra sólida que representa el comportamiento similar entre las series (Figuras 25, 26)

Finalmente de los 35 árboles de *C. cateniformis* solamente 22 árboles, 14 árboles de la plantación 401-74 y 8 del bosque en el C.I.J.H correspondientemente, presentaron inter-correlaciones significativas de 0.69 y 0.56, esto indica que existe características comunes (coincidencias) evidenciando una señal común en los árboles datados de cada sitio estudiado. Árboles de *C. cateniformis* que no presentaron correlaciones altas fueron descartadas del análisis final debido a la presencia en la estructura anatómica de irregularidades (tortuosidad, madera de reacción, anillos de crecimiento falsos e indiferenciados, entre otros.) Las Tablas

5, 6, 7 muestran los resultados del control de calidad en las series y las inter-correlaciones que presentan una señal común de las series de los anillo de crecimiento.

Tabla 5 Control de calidad de las series ejecutadas por el programa COFECHA.

Sitio	Número de árboles (series)		Inter-Correlación media	Longitud del segmento	Máximo número de anillos observados
	Antes	Despues			
Plantación 401-74	20 (50)	14 (32)	0.69	20	33
Bosque del C.I.J.H.	15 (22)	8 (10)	0.56	20	83

Tabla 6 Inter-correlaciones de las series cronológicas a partir del ancho de los anillos de crecimiento de los árboles de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H.

Secuencia	Series	Intervalo	Inter-correlaciones					
			1940 - 1959	1950 - 1969	1960 - 1979	1970 - 1989	1980 - 1999	1990 - 2007
1	T005_(TE6)	1964 2007			0,68	0,7	0,79	0,81
2	T005_(TD)	1969 2007			0,54	0,51A	0,66	0,73
3	T31_(31_3)	1951 2007		0,33A	0,59	0,61	0,85	0,75
4	T06_(TB_6)	1925 2007	0,54	0,11B	0,14B	0,5A	0,54	0,48B
5	T13_2	1948 2007	0,41B	0,30B	0,29B	0,40A	0,57	0,65
6	T18_5	1957 2007		0,70	0,80	0,78	0,68	0,43A
7	T10_5	1943 2007	0,54	0,57	0,59	0,58	0,69	0,69
8	T02_(TH)	1982 2007					0,53	0,53
9	T03_(TB_1)	1996 2007						0,65
10	T03_TC_1)	1996 2007						0,39B
Correlación Media			0,50	0,40	0,52	0,58	0,66	0,61

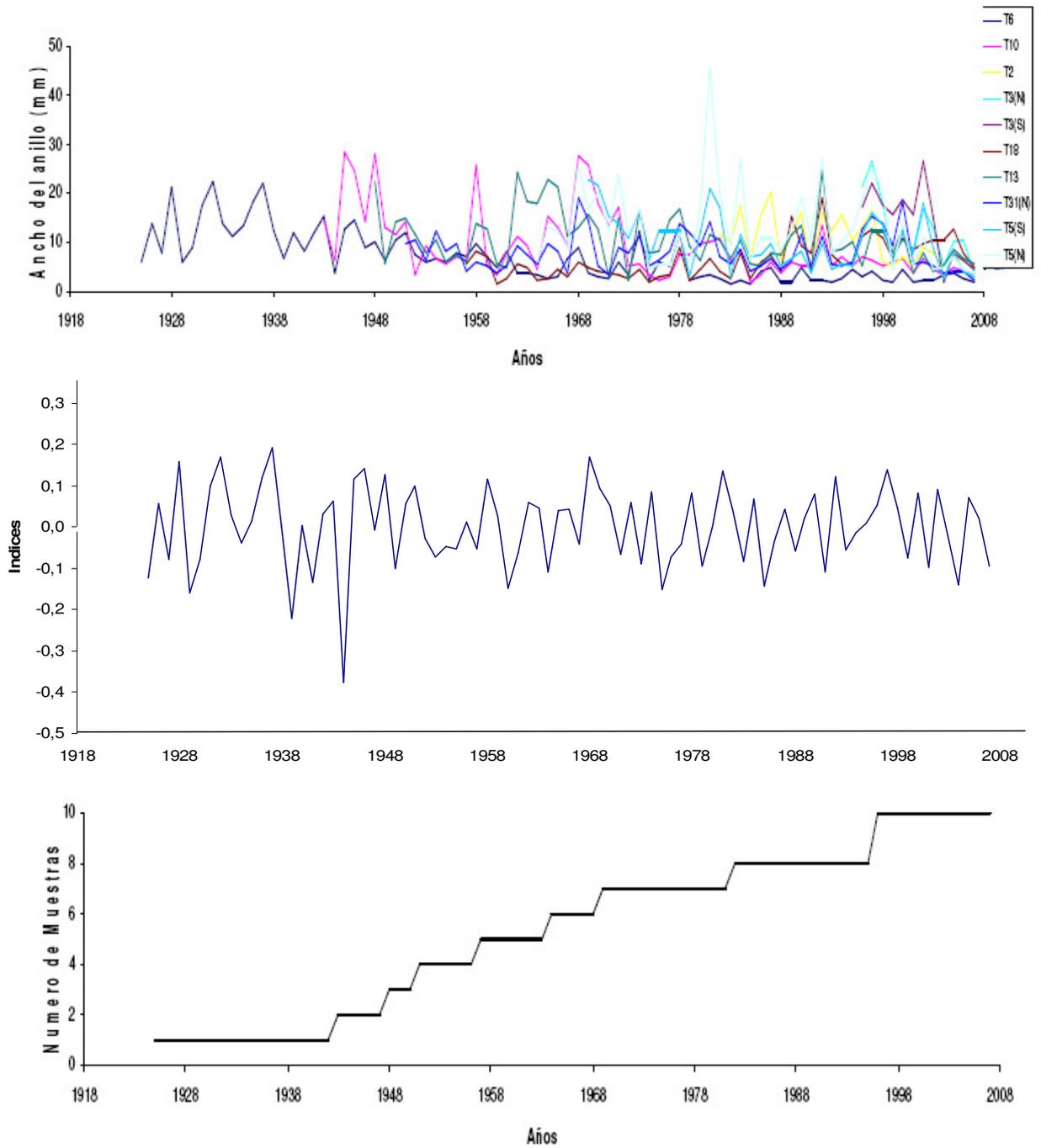


Figura 25 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa COFECHA y número de muestras utilizadas en el análisis del bosque en el C.I.J.H. (inferior)

Tabla 7 Inter-correlaciones de las series cronológicas a partir del ancho en los anillos de crecimiento para árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 del C.I.J.H.

Secuencia	Series	Intervalos	INTER-CORRELACIONES		
			1970 - 1989	1980 - 1999	1990 - 2007
1	35-1(N)	1975 2007	0,71	0,76	0,79
2	35-1(S)	1975 2007	0,90	0,91	0,72
3	41-1(N)	1975 2007	0,68	0,75	0,75
4	47-1(N)	1976 2007	0,70	0,71	0,73
5	47-1(S)	1975 2007	0,46A	0,56	0,58
6	9-1(N)	1975 2007	0,75	0,79	0,81
7	47-6(N)	1985 2007		0,80	0,83
8	47-6(E)	1981 2007		0,67	0,79
9	47-3(S)	1987 2007		0,63	0,61
10	47-3(O)	1975 2007	0,71	0,73	0,88
11	47-2(N)	1990 2007			0,67
12	47-2(E)	1975 1997	0,68	0,68	
13	59-5(N)	1981 2007		0,69	0,65
14	59-5(S)	1977 2007	0,76	0,83	0,80
15	57-7(S)	1975 2006	0,81	0,81	0,65
16	57-7(N)	1975 2004	0,76	0,79	0,79
17	57-7(O)	1979 2007	0,71	0,69	0,63
18	57-7(E)	1975 2007	0,55	0,66	0,58
19	57-5(N)	1975 2004	0,75	0,83	0,81
20	57-4(O)	1975 2007	0,79	0,80	0,70
21	57-4(S)	1975 2003	0,62	0,66	0,64
22	A	1975 2001	0,79	0,80	0,76
23	B	1978 2007	0,76	0,76	0,77
24	C	1975 2006	0,80	0,89	0,62
25	47-1(O)	1987 2007		0,68	0,67
26	25-4(N)	1980 2007		0,69	0,70
27	25-8(N)	1975 2007	0,47A	0,57A	0,73
28	9-1(E)	1975 2007	0,81	0,85	0,74
29	35-1(E)	1975 2007	0,46A	0,38A	0,54
30	29-7(N)	1977 2007	0,65	0,66	0,70
31	29-7(S)	1975 2007	0,62	0,55	0,46A
32	47-1(E)	1975 2007	0,67	0,73	0,70
Correlación Media			0,69	0,72	0,70

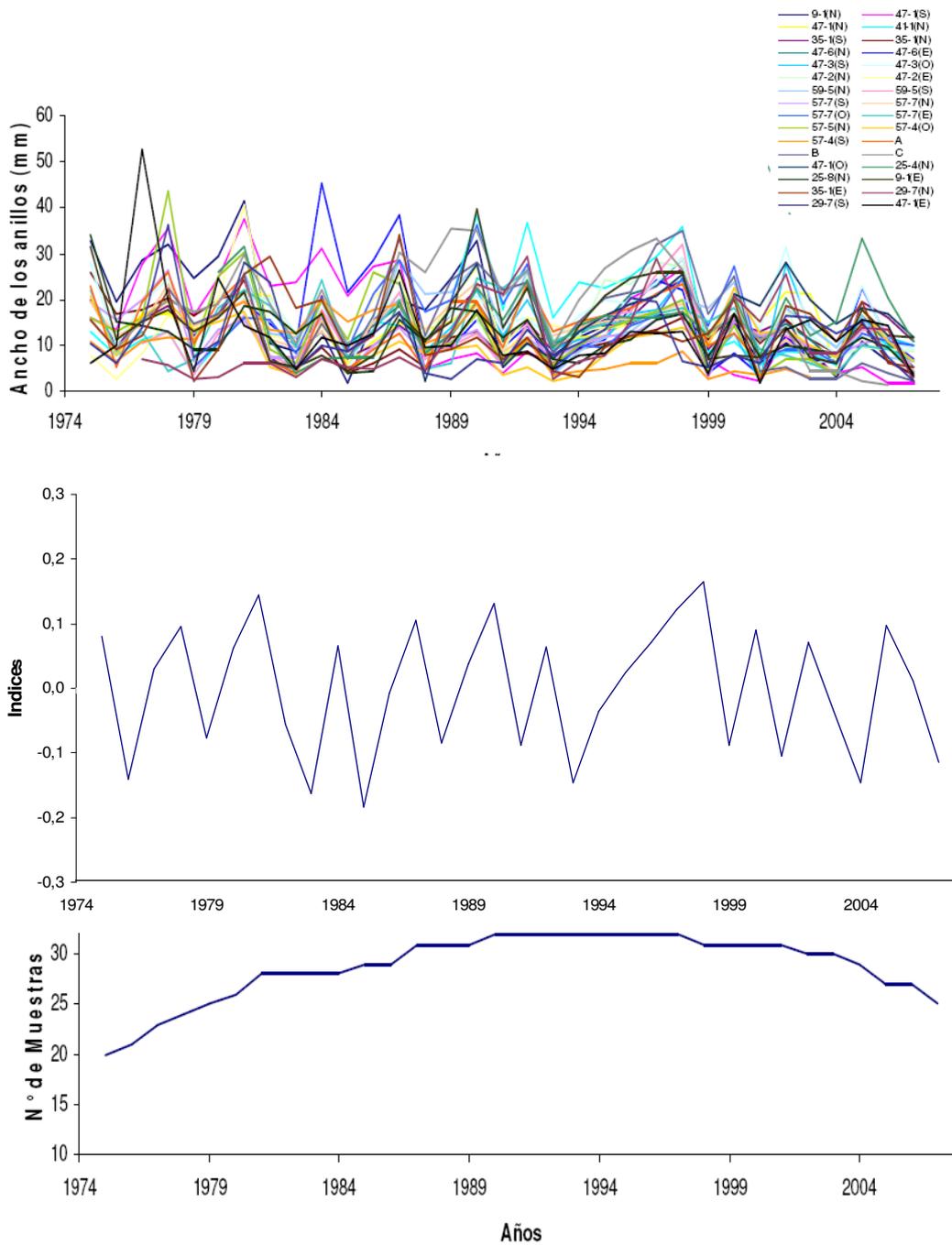


Figura 26 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa COFECHA y número de muestras utilizadas en el análisis de la plantación 401-74. (Inferior).

4.4.2 Series cronológicas de anillos de crecimiento

Después de realizar el control de calidad en las series de los anillos de crecimiento en árboles de *C. cateniformis*, se padronizo las series cronológicas obtenidas tanto de la plantación 401-74 y del bosque en el C.I.J.H., mediante la remoción de las tendencias biológicas de crecimiento en diámetro no relacionadas con el clima a través de la aplicación de una función spline cúbico, mediante la ejecución del programa ARSTAN (Cook 1985; Holmes, 1994). Cabe resaltar que la aplicación de este spline fue adoptado en función de los mejores resultados, siendo así, que para dendroclimatología permite obtener la mejor reconstrucción climática (Deldago, 2000).

La padronización mediante el spline cúbico en las series del ancho en los anillos de crecimiento en árboles de *C. cateniformis* y de acuerdo a lo sugerido por Cook (1989) un porcentaje de longitud de serie de 67% que asegura que las variancias de baja frecuencia se pierdan, siendo la tendencia de crecimiento removida, tornándose más flexible y permitiendo un mejor ajuste así como una mayor cantidad de de segmentos en las series de anillos de crecimiento.

Las cronologías en los anillos de crecimiento generadas por el programa ARSTAN, indican para los árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 y del bosque en el C.I.J.H. una extensión 33 años (1975 - 2007) y de 83 años (1924-2007), respectivamente. La instalación de la plantación realizada el 15 de diciembre de 1974 (Claussi et al., 1992) coincide con la edad determinada mediante el análisis de los anillos de crecimiento ya que el último anillo, fue formado entre el año 2007 y principios del 2008, para los árboles analizados en el bosque la edad máxima podría encontrarse en torno a los 83 años debido al bajo número de radios correlacionadas por árbol. Se observa que el número de muestras analizadas disminuye conforme aumenta la extensión (en años) de las cronologías, esto indica que árboles de más edad (más viejos) son más escasos

en el bosque del C.I.J.H. y consecuentemente una mayor presencia de árboles con edades similares (más jóvenes). (Figuras 27, 28).

El análisis de las series en los anillos de crecimiento de los árboles de *C. cateniformis* en el C.I.J.H. mostraron correlaciones significativas, revelando de este modo, una sincronización en el crecimiento determinándose consecuentemente una cronología maestra para cada sitio analizado. La posibilidad de agrupar las especies tropicales ocurrentes en dos sitios diferentes, mediante el análisis dendrocronológico, muestra que el resultado en las series temporales en el ancho de los anillos de crecimiento (índices) es una representación de un padrón común de variabilidad de esas especies (Chagas, 2009). Asimismo se comparo las cronologías maestras en los dos sitios analizados permitiendo determinar la existencia de señales comunes en Jenaro herrera, por lo tanto, la figura 29 muestra las cronologías en los anillos de los anillos de crecimiento en árboles de *C. cateniformis* presentando un alta sincronización. El coeficiente de correlación de Pearson de 0.56 entre las cronologías de los anillos de crecimiento (Tabla 8), fue significativa ($p > 0,05$), indicando que el crecimiento en diámetro de los troncos en árboles de *C. cateniformis* en los dos sitios analizados no presentan diferencias debido a la fuerte influencia de una señal común y posiblemente a condiciones de cada sitio como topografía, competencia, naturaleza edáfica, entre otras.

Las correlaciones positivas entre las series cronológicas en los anillos de crecimiento en árboles de *C. cateniformis* tanto para la plantación 401-74 y el bosque en el C.I.J.H. demuestran que esta especie posee un enorme potencial para estudios en la construcción de redes cronológicas más extensas en la región amazónica, partiendo de un muestreo más amplio en árboles que se desarrollan en otras localidades, aunque en diferentes condiciones de microclima. Ya árboles de la especie fueran analizadas en bosque de Bolivia determinando que son de rápido crecimiento y con un potencial significativo para estudios de dendrocronología tropical (Brienem 2005)

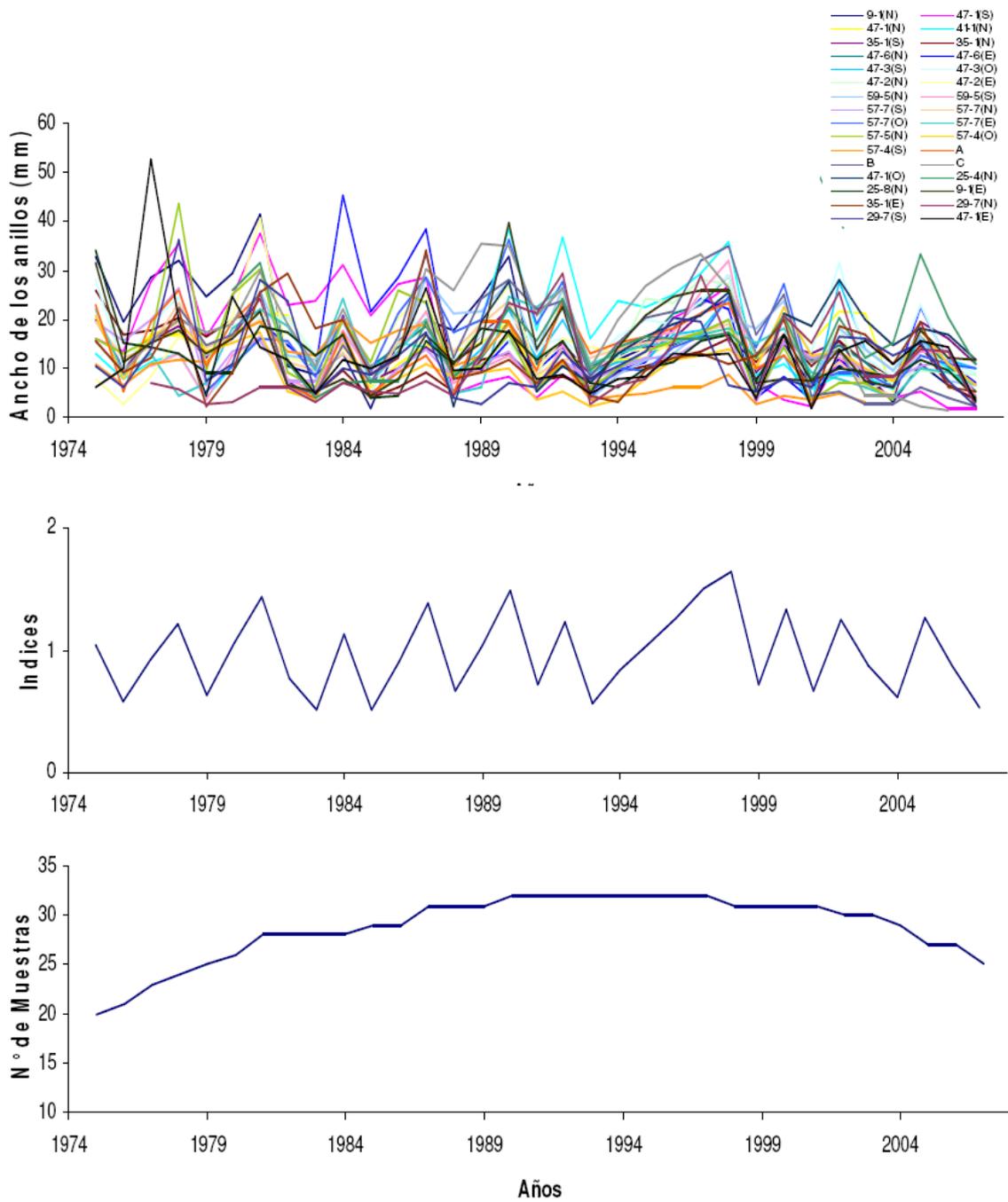


Figura 27 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa ARSTAN y número de muestras utilizadas en el análisis de la plantación 401-74. (Inferior)

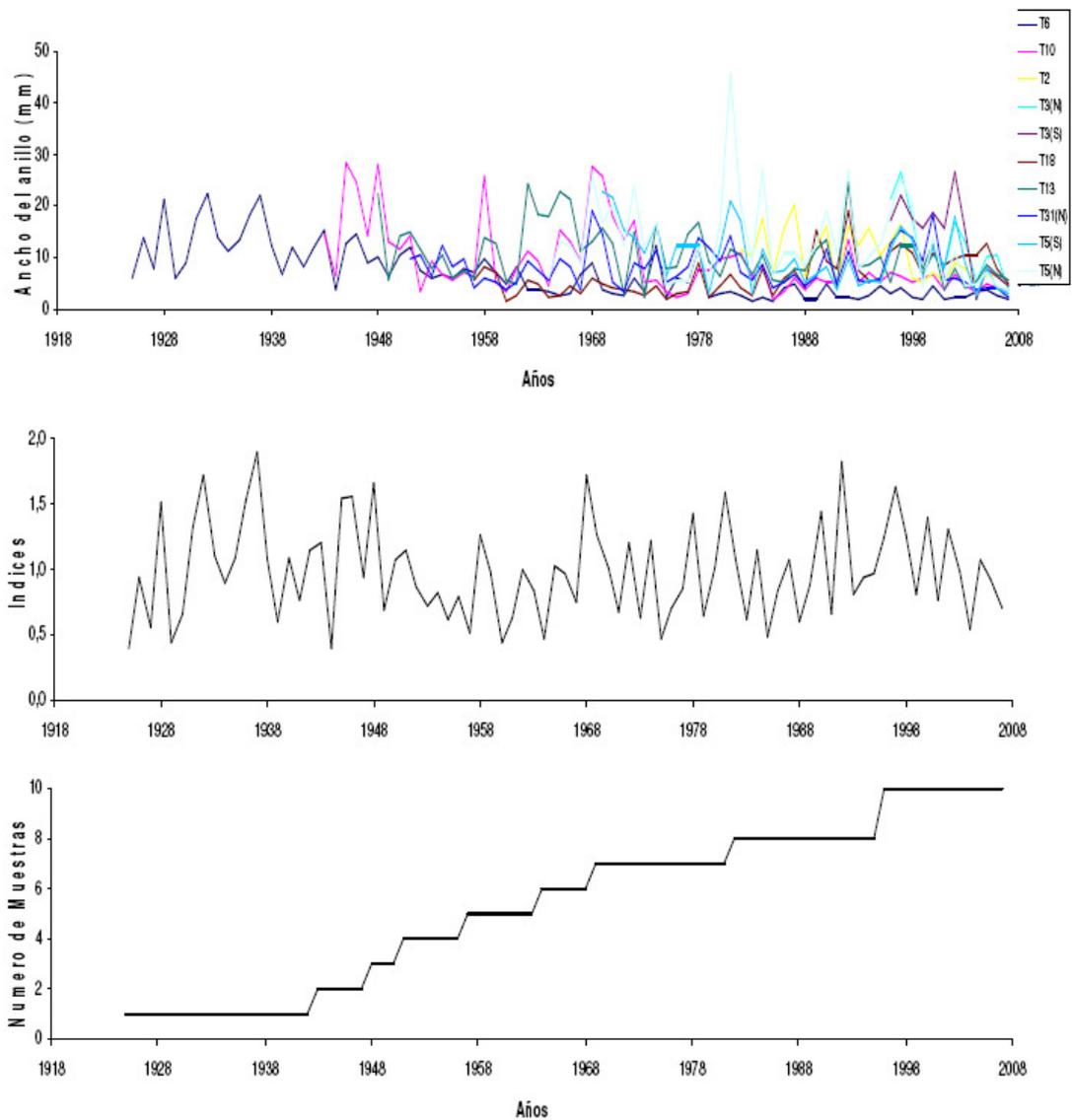


Figura 28 Series en el ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior), serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa ARSTAN y número de muestras utilizadas en el análisis del bosque en el C.I.J.H. (inferior)

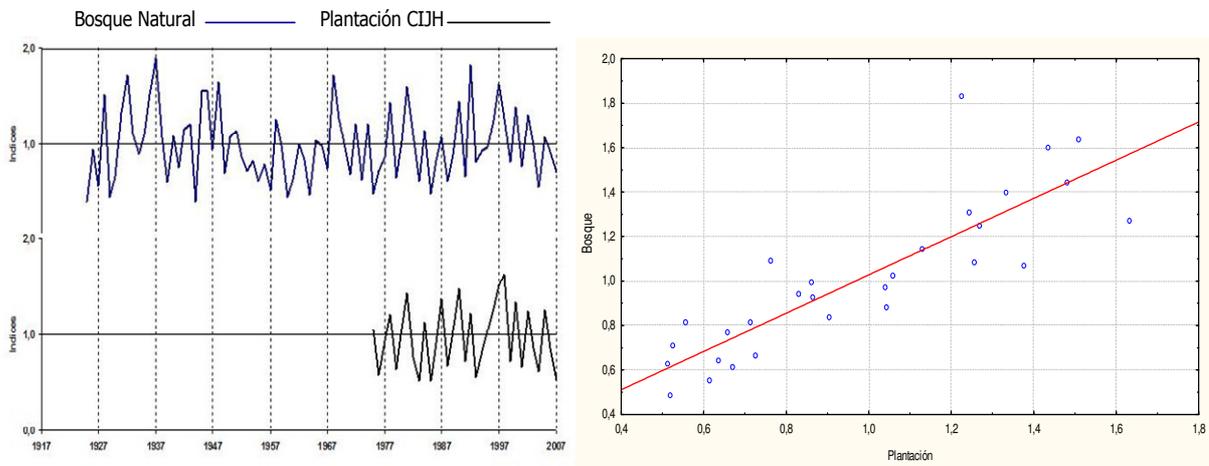


Figura 29 Comparación de las cronologías maestras a partir del ancho en los anillos de crecimiento para árboles de *C. cateniformis* entre la plantación 401-74 y el bosque del C.I.J.H.

Tabla 8 Inter-correlaciones de las series cronológicas a partir del ancho en los anillos de crecimiento para árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 y el bosque del C.I.J.H.

Secuencia	Series	Intervalos	Inter-correlaciones					
			1940 -1959	1950 - 1969	1960 -1979	1970 - 1989	1980 - 1999	1990 - 2007
1	35-1(N)	1975 2007				0,68	0,75	0,78
2	35-1(S)	1975 2007				0,88	0,91	0,73
3	41-1(N)	1975 2007				0,66	0,75	0,76
4	47-1(N)	1976 2007				0,74	0,75	0,73
5	47-1(S)	1975 2007				0,51B	0,56	0,60
6	9-1(N)	1975 2007				0,75	0,80	0,80
7	47-6(N)	1985 2007					0,80	0,83
8	47-6(E)	1981 2007					0,65	0,80
9	47-3(S)	1987 2007					0,65	0,64
10	47-3(O)	1975 2007				0,72	0,75	0,85
11	47-2(N)	1990 2007						0,70
12	47-2(E)	1975 1997				0,70	0,69	
13	59-5(N)	1981 2007					0,68	0,63
14	59-5(S)	1977 2007				0,75	0,81	0,79
15	57-7(S)	1975 2006				0,82	0,81	0,65
16	57-7(N)	1975 2004				0,76	0,79	0,80
17	57-7(O)	1979 2007				0,69	0,67	0,62
18	57-7(E)	1975 2007				0,53	0,68	0,60
19	57-5(N)	1975 2004				0,75	0,80	0,79
20	57-4(O)	1975 2007				0,74	0,77	0,67
21	57-4(S)	1975 2003				0,61	0,63	0,61
22	A	1975 2001				0,80	0,82	0,79
23	b	1978 2007				0,73	0,73	0,77
24	C	1975 2006				0,78	0,89	0,60
25	47-1(O)	1987 2007					0,66	0,65
26	25-4(N)	1980 2007					0,70	0,72
27	25-8(N)	1975 2007						0,72
28	9-1(E)	1975 2007				0,47A	0,60	0,72
29	35-1(E)	1975 2007				0,76	0,84	0,73
30	29-7(N)	1977 2007				0,64	0,67	0,69
31	29-7(S)	1975 2007				0,66	0,58	0,50A
32	47-1(E)	1975 2007				0,65	0,69	0,68
33	T005_(TE6)	1964 2007			0,60	0,57	0,82	0,85
34	T005_(TD)	1969 2007			0,54	0,51A	0,76	0,81
35	T31_(31_3)	1951 2007		0,33A	0,51A	0,54	0,87	0,81
36	T06_(TB_6)	1925 2007	0,54	0,11B	0,11B	0,60	0,74	0,62
37	T13_2	1948 2007	0,41B	0,30B	0,32B	0,44B	0,46B	0,59
38	T18_5	1957 2007		0,49A	0,58	0,62	0,67	0,51A
39	T10_5	1943 2007	0,54	0,57	0,55	0,51A	0,57	0,64
40	T02_(TH)	1982 2007					0,54	0,50A
41	T03_(TB_1)	1996 2007						0,64
42	T03_(TC_1)	1996 2007						0,46B
Correlación media			0,50	0,36	0,46	0,66	0,71	0,69

4.5 Potencial de los árboles de *C. cateniformis* para estudios de dendroclimatología

La influencia de las variables climáticas en el crecimiento en diámetro en el tronco de los árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 y el bosque del C.I.J.H., fue desarrollada mediante la correlación entre las cronologías obtenidas por el programa ARSTAN para cada sitio y los datos climáticos (temperatura media anual y precipitación media anual) de la estación del C.I.J.H. para el periodo de 1979-2007.

En ambos sitios para los árboles de *C. cateniformis* se obtuvo coeficientes de correlación de Pearson negativas ($r = 0,1038$; $p = 0,5920$) y ($r = 0,1804$; $p = 0,3490$), entre las cronologías maestras obtenidas y la temperatura media anual (Figuras 32 y 33). Por el contrario los coeficientes de correlación de Pearson para precipitación fue de ($r = 0,4330$; $p = 0,0190$) para los árboles del bosque en el C.I.J.H. y ($r = 0,4775$; $p = 0,0088$) para la plantación 401-74 (Figuras 30 y 31). Por lo tanto, la cronología maestra y la variable correlacionada positivamente (precipitación media anual), pueden ser consideradas como determinantes en el crecimiento en diámetro de los árboles de *C. cateniformis*, evidenciando también que la precipitación media anual (señal común) influye fuertemente y significativamente en el ancho de los anillos co-datados en los dos sitios, observándose así la formación de anillos de crecimiento anchos y estrechos, como respuesta de la periodicidad a una mayor y menor actividad cambial.

Los altos índices de significancia obtenidas entre las cronologías maestras y las precipitaciones medias anuales para el periodo de 1979-2007 indican que podría ser la principal variable climática actuante en el crecimiento en diámetro de los árboles analizados. La disponibilidad de agua tiene gran influencia en el crecimiento de árboles tropicales, no solamente como resultado del déficit de precipitación durante ciertas estaciones del año, sino también debido a la variación de la precipitación de año a año (Brienem, 2005).

La formación de los anillos de crecimiento en los árboles analizados es probablemente causada por la cesación del crecimiento durante la época seca que ocurre más o menos tres meses por año. Durante la época seca el crecimiento de los árboles es periódicamente limitado por la carencia de agua resultando en la formación de anillos anuales, este mismo modelo se ha encontrado en estudios realizados en Brasil (Worbes 1985, Vetter & Botosso 1988; Cardoso 1991; Botosso & Vetter 1991; Tomazello Filho & Cardoso 1999; Marcati et al., 1999; Botosso 2000, Lisi et al., 2008), Perú (Rosero 2009), Bolivia (Brienem & Zuidemman 2003; Brienem 2005), las especies fueron sensibles a la cantidad de precipitación al inicio de la época de lluvia. Por consiguiente, su crecimiento en diámetro fue más alto (anillos más anchos) cuando esos meses fueron relativamente húmedos, y su crecimiento en diámetro fue más bajo cuando esos meses fueron relativamente secos, comparado con otros años.

La sincronización observada entre las cronologías en los anillos de crecimiento en los árboles de *C. cateniformis* en ambos sitios analizados indican que la precipitación condiciona el crecimiento en diámetro del tronco, además se encontró un mayor índice significativo para los árboles de la plantación 401-74 en comparación para los árboles analizados en condiciones naturales, pudiendo ser el resultado que crecieron bajo las mismas condiciones de sitio además de otros factores locales. Resultados de investigaciones sobre eco-fisiología en árboles de *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla* por Dunish et al. (2002, 2003) demuestran que las especies estudiadas responden más sensiblemente a condiciones locales como agua, y demanda de nutrientes indicando que existe una alta sensibilidad de las cronologías posiblemente a variaciones de micro sitio en las áreas estudiadas.

Un análisis más detallado de las variables climáticas (precipitación y temperatura) y su influencia en el crecimiento en árboles de *C. cateniformis* a través de la correlación de Pearson entre las cronologías de los anillos de crecimiento y los registros climáticos mensuales (desde junio del año anterior en el periodo de crecimiento hasta julio del año corriente: periodo de 14 meses), a través del

programa RESPO (Holmes, 1994), determinándose en que periodo las variables climáticas influyen significativamente en el crecimiento en diámetro de los árboles de *C. cateniformis* analizados. El análisis realizado por el programa RESPO es mostrados en las Tablas 9 y 10.

Para los árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74, se obtuvieron correlaciones negativas en el crecimiento del tronco con la temperatura en la época seca (junio, octubre), sin ser significativo en todos los meses analizados. Consecuentemente, se determino correlación positiva y significativa en el crecimiento del tronco en *C. cateniformis* con la precipitación al inicio de la época de lluvias (verano) en el mes de enero del año corriente (Figura 34). Una correlación positiva en el mes de enero indica que los niveles de precipitación presentan una mayor influencia en el crecimiento en diámetro del tronco en árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 al inicio de la época de lluvias, particularmente en el mes de enero, donde la correlación fue positiva y significativa, las correlaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo son positivas, pero no fueron significativas.

Brienem (2005) desarrollo un modelo similar con árboles de *C. cateniformis* donde estos primeros meses de la estación de lluvia son probablemente los más importantes para el crecimiento de los árboles, debido a que son el inicio de la época de crecimiento y la reserva de agua en el suelo del bosque es muy baja después de una época seca prolongada. Por lo tanto, el crecimiento en diámetro del tronco en la etapa inicial de la época de lluvia depende fuertemente de la precipitación, mientras que el crecimiento en la etapa final es menos limitado por la precipitación. Asimismo, los árboles probablemente presentan un mayor crecimiento del tronco durante la etapa inicial de la época de lluvia en comparación con el crecimiento en la etapa final de la época de lluvia, cuando probablemente una alta proporción de carbohidratos son almacenados.

Para los árboles de *C. cateniformis* en condiciones naturales se obtuvo correlaciones positivas en el crecimiento del tronco con la temperatura en la

estación seca (invierno), siendo positiva y significativa en el mes de junio del año corriente. Correlaciones positivas y significativas en el crecimiento del tronco con la precipitación al final de la estación lluviosa (verano) en los meses de abril y mayo del año corriente (Figura 34). Estos resultados indican que existe un mayor crecimiento en diámetro en los meses finales a la época de lluvias, es decir al final de la estación de crecimiento (mayo), posiblemente por el almacenamiento de compuestos orgánicos producidos en el proceso fotosintético durante este último periodo y es utilizado en el crecimiento de los árboles en el inicio de la estación de crecimiento siguiente.

Dunisch et al., (2002) y Brienem (2005) sustentan que puede deberse a la capacidad de acumulación de reservas de los árboles de la especie durante este periodo, y pueden ser utilizadas para incrementar el crecimiento durante la próxima época de crecimiento. Por otro lado la temperatura puede influenciar en el crecimiento del tronco de los árboles en el mes de junio posiblemente, a una reducción de reservas de agua en el suelo con un aumento de la temperatura. Además cambios en la temperatura pueden influenciar positivamente en el crecimiento debido, posiblemente al efecto de radiación solar y a un aumento en la actividad fotosintética (Clark; Clark, 1994). Dávila et al., (2008) sostiene que la floración en árboles de *C. cateniformis* en el C.I.J.H., ocurre entre noviembre y diciembre, y la fructificación entre diciembre y febrero, pudiendo ser que los árboles creciendo en condiciones naturales, bajo diferentes factores de sitio, y bajo una mayor presión por una alta competencia de recursos (suelo, agua, luz, entre otros) necesiten una mayor acumulación de agua para iniciar su actividad cambial.

Para los árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 y del bosque del C.I.J.H. se ha comprobado que existe una fuerte influencia de la precipitación en el incremento del tronco (Figura 35), las diferencias observadas se deben principalmente a la capacidad en el almacenamiento y la disponibilidad de agua en el suelo relacionada con las condiciones fisiográficas de cada sitio en particular. Los árboles de *C. cateniformis* son más sensibles a las precipitaciones en el mes

de enero debido a que son árboles que crecen bajo las mismas condiciones, en cambio los árboles del bosque en el C.I.J.H., son más sensibles a las precipitaciones en los meses de abril y mayo, al final de la estación de lluvias, son los meses que presentan mayores promedios de precipitación (abril – 293.5mm).

Existen diversas explicaciones para estos modelos de crecimiento (Pumijumng et al. 1995; Dunisch et al. 2003; Fichtler et al. 2004), en general la sensibilidad a las lluvias es bastante similar, la mayor sensibilidad a las precipitaciones durante la primera temporada de lluvias y el efecto de la lluvia en la posterior temporada. En primer lugar, las lluvias a finales de la estación seca y comienzo de la temporada de lluvias podrían romper una supuesta latencia, resultado de un largo período de crecimiento y, por lo tanto, existir un crecimiento mayor para ese año. La precipitación que induce a romper la latencia, se observa en especies deciduas (Wright y Cornejo 1990; Borchert 1994; Borchert 1999; Priya y Bhat 1999), otra explicación para la sensibilidad a las lluvias (principio de la temporada de precipitaciones) podría ser un aumento gradual en el agua, en las reservas almacenadas en el suelo como producto de la temporada de lluvias. Después de un lapso de tiempo de 2-3 meses siguientes al inicio de la temporada de lluvias las reservas de agua en el suelo pueden superar los niveles críticos y los árboles pueden mantener un positivo balance de agua en los meses restantes de la temporada de lluvias, incluso en períodos cortos.

Finalmente modelos similares fueran observados en bosque de tierra firme para árboles de 8 especies por un periodo de 20 meses, caracterizados por bajos índices de precipitación pluviométrica (julio-setiembre) con una disminución o algunas veces hasta el cese la actividad cambial (Botosso & Vetter, 1991). Lo mismo fue observado por Detienne (1989) en la Guayana Francesa, Vetter & Botosso (1988, 1989) en la Amazonía central, Worbes (1999) en Venezuela y también Lojan (1965, 1967 y 1968) comparo las variaciones climáticas con las periodicidades de crecimiento en el tronco de especies forestales en Turrialba-

Costa Rica, verificando que los árboles crecían cada mes, de acuerdo con el periodo de mayor precipitación, temperatura y humedad relativa.

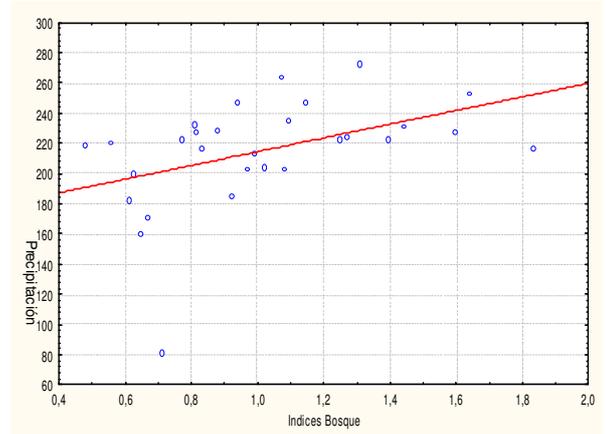
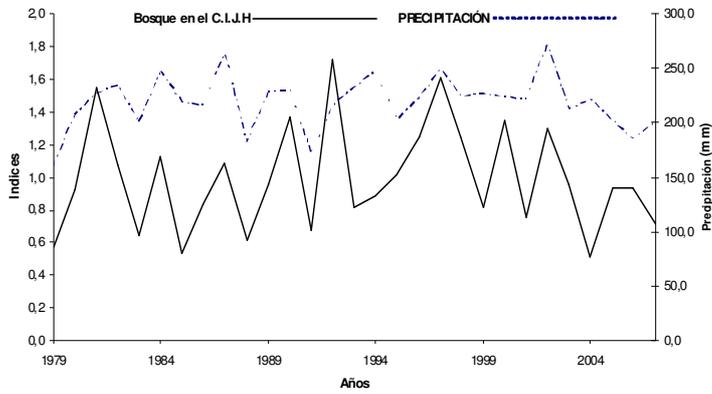


Figura 30 Correlación entre la cronología maestra de árboles de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H. con la precipitación media de la estación meteorológica Jenaro Herrera

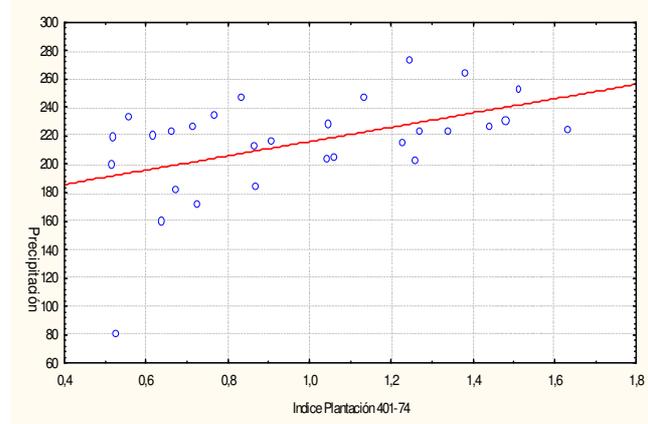
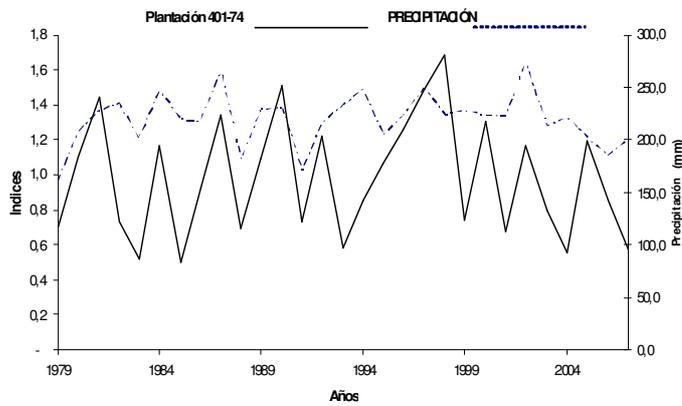


Figura 31 Correlación entre la cronología maestra de árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 del C.I.J.H. con la precipitación media de la estación meteorológica Jenaro Herrera

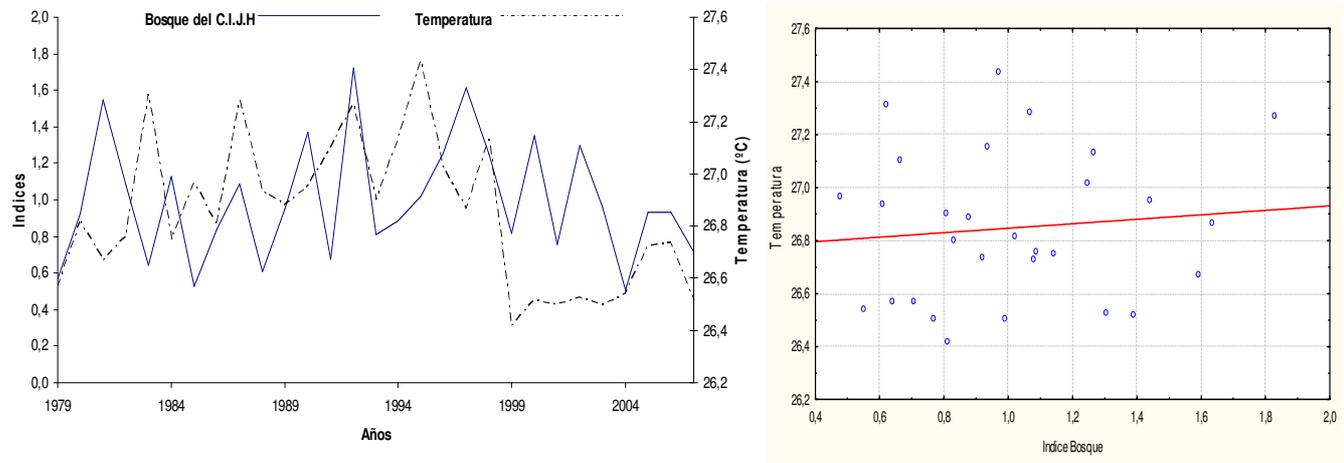


Figura 32 Correlación entre la cronología maestra de árboles de *C. cateniformis* en el bosque del C.I.J.H. con la temperatura media anual en la estación meteorológica Jenaro Herrera.

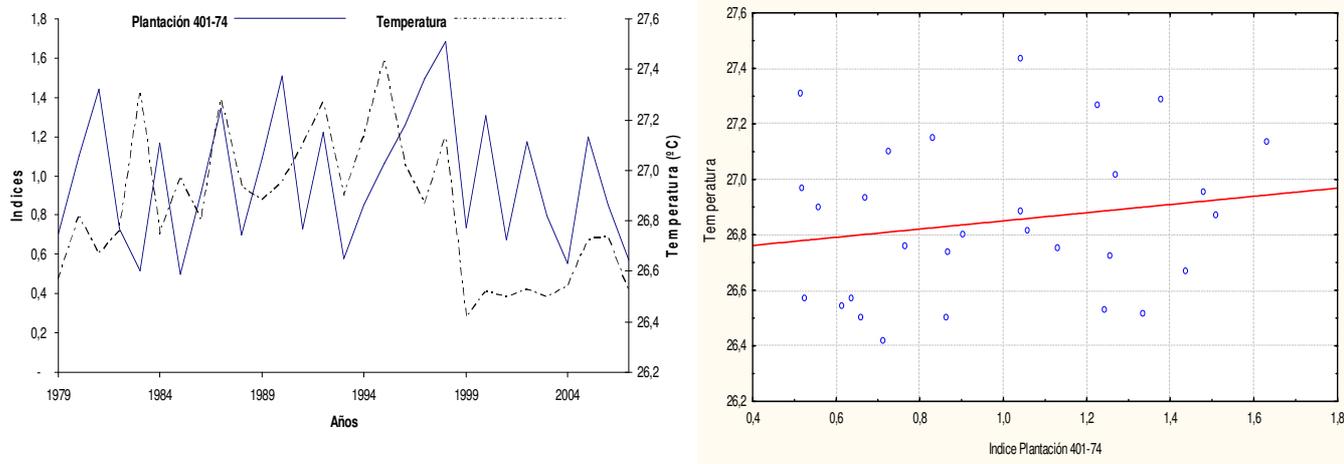


Figura 33 Correlación entre la cronología maestra de árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 del C.I.J.H. con la temperatura media anual de la estación meteorológica Jenaro Herrera.

Tabla 9 Coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre índices con el ancho de los anillos de crecimiento de la plantación 401-74 (cronología maestra), valores mensuales de precipitación (PPT media mm) y temperaturas medias (T medias °C).

RESPO Plantación 401-74			
Temperatura		Precipitación	
Meses	Correlación de Pearson	Meses	Correlación de Pearson
Junio	-0,1744	Junio	-0,0647
Julio	0,1793	Julio	-0,1284
Agosto	0,1103	Agosto	-0,1758
Setiembre	0,1846	Setiembre	0,0264
Octubre	-0,0652	Octubre	-0,0877
Noviembre	0,0773	Noviembre	-0,0233
Diciembre	0,1768	Diciembre	-0,0793
Enero	-0,0706	Enero	0,4197 +
Febreo	-0,0896	Febreo	0,1888
Marzo	0,3265	Marzo	0,1089
Abril	0,1997	Abril	0,2722
Mayo	0,1355	Mayo	0,3216
Junio	0,2287	Junio	-0,0055
Julio	0,0245	Julio	-0,1189

Nota: + confianza a un nivel del 95%

Tabla 10 Coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre índices con el ancho de los anillos de crecimiento de la plantación 401-74 (cronología maestra), valores mensuales de precipitación (PPT media mm) y temperaturas medias (T medias °C).

RESPO Bosque del C.I.J.H.			
Temperatura		Precipitación	
Meses	Correlación de Pearson	Meses	Correlación de Pearson
Junio	-0,082	Junio	-0,018
Julio	0,113	Julio	-0,122
Agosto	-0,046	Agosto	-0,127
Setiembre	0,111	Setiembre	0,099
Octubre	-0,228	Octubre	-0,084
Noviembre	-0,095	Noviembre	-0,247
Diciembre	0,202	Diciembre	-0,206
Enero	-0,122	Enero	0,296
Febreo	-0,215	Febreo	0,094
Marzo	0,190	Marzo	0,126
Abril	0,142	Abril	0,3475 +
Mayo	0,219	Mayo	0,379 +
Junio	0,3726 +	Junio	0,032
Julio	-0,041	Julio	-0,103

Nota: + confianza a un nivel del 95%

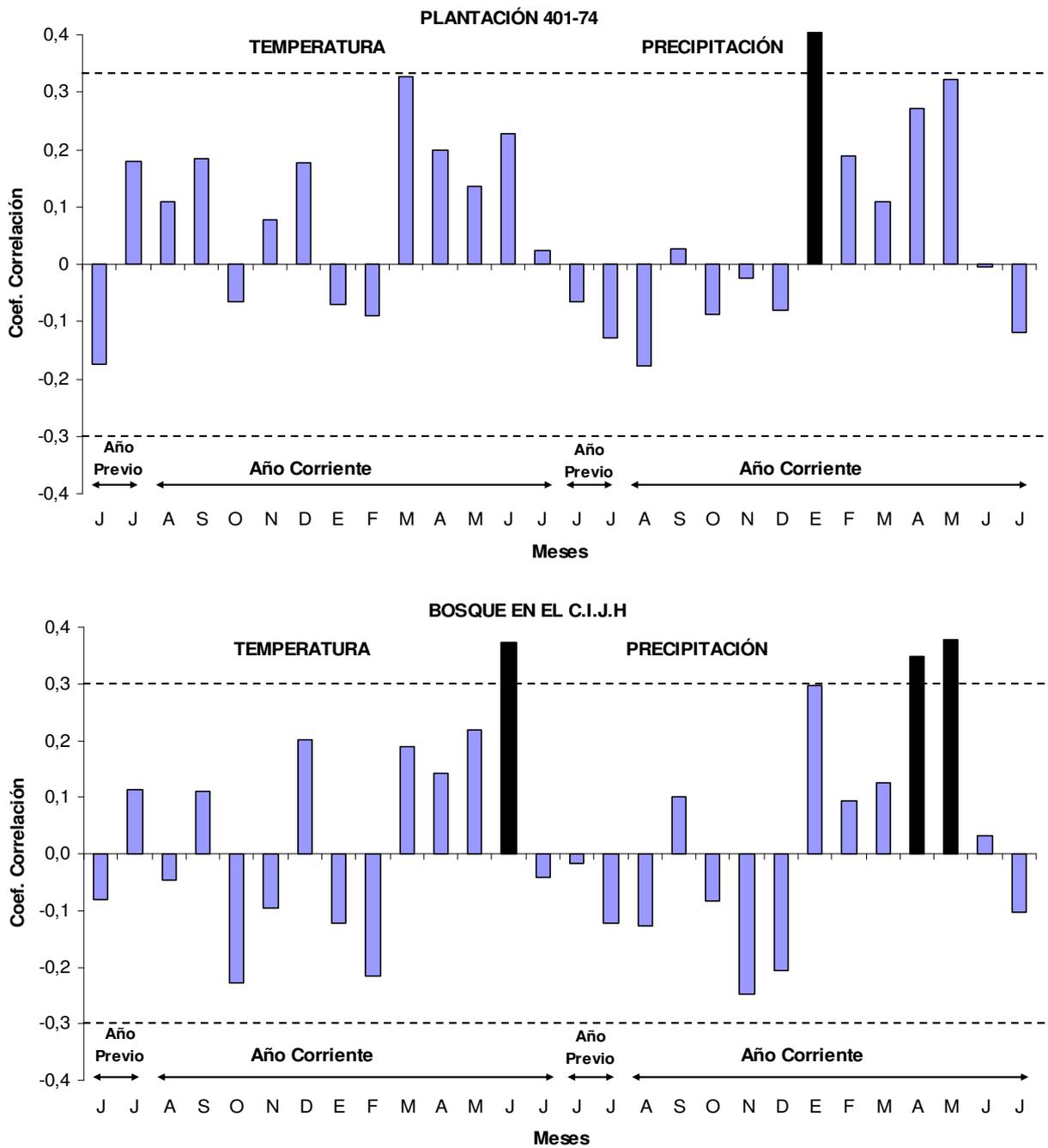


Figura 34 Correlación entre índices en los anillos de crecimiento con la variables climáticas mensuales, para la plantación 401 – 74 y el bosque del C.I.J.H.

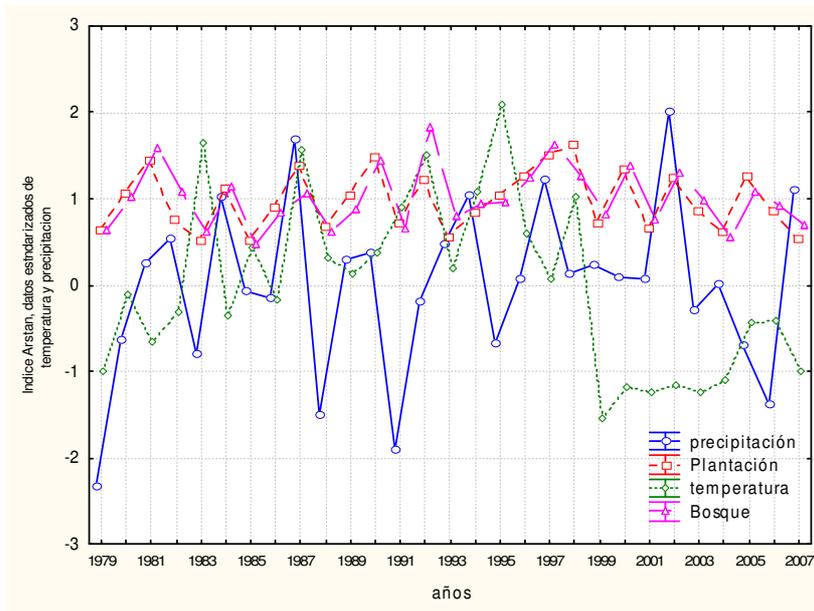


Figura 35 Estandarización de la precipitación y temperatura media anual y su comparación con las series maestras con árboles de *C. cateniformis* en la plantación 401-74 y el bosque en el C.I.J.H.

5 CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo obtenidos permiten concluir, para los árboles de *Cedrelinga cateniformis* de la plantación 401-74 y el Bosque en el Centro de investigaciones Jenaro herrera.

- El leño en árboles de *Cedrelinga cateniformis* presentaron anillos de crecimiento distintos, demarcados por una zona fibrosa marcada por serie de filas de fibras con un diámetro radial corto y paredes espesas con una menor frecuencia de vasos, siendo similar a la descrita por la literatura en los árboles de esta especie.
- La estructura anatómica en árboles de *Cedrelinga cateniformis* presento diferencias significativas en los dos sitios analizados, siendo mayor el diámetro, porcentaje y frecuencia de vasos así como una menor espesura en la pared de las fibras en los árboles de plantación.
- Los árboles de *Cedrelinga cateniformis* forman anillos de crecimiento anuales, comprobado mediante el ancho de los anillos de crecimiento mediante el análisis de dendrocronología.
- El análisis de dendrocronología demostró que los árboles de *C. cateniformis* de la plantación 401-74 tienen 33 años coincidiendo con la fecha de instalación y del Bosque en el Centro de Investigaciones Jenaro herrera podrían variar de los 12 a los 83 años.
- Los árboles de *C. cateniformis* mostraron tener una relación entre el crecimiento en diámetro del tronco, y la precipitación durante época de lluvias (Enero – Abril y Mayo), indicando su potencial para reconstrucciones climáticas en la Región.

- Los árboles de *C. cateniformis* presentan una respuesta común en el crecimiento en diámetro del tronco a las señales climáticas, como precipitación pluviométrica y influenciada por las condiciones de cada sitio.
- La densitometría de rayos x posibilitó la identificación y la demarcación exacta en el límite de los anillos de crecimiento, asimismo permitió determinar las variaciones en la densidad aparente en el leño, así como entre cada anillo de crecimiento en el sentido radial.
- Los árboles de *C. cateniformis* en los dos sitios analizados presentaron diferencias significativas para la densidad aparente media del leño y la estabilización de las variaciones de densidad a partir de los 33 años.

6 RECOMENDACIONES:

El estudio dendrocronológico permitió determinar la edad de los árboles, en los dos sitios analizados, fue difícil de desarrollarlo, debido a la gran presencia de anillos falsos y ausentes presentes en el leño al momento de realizar el co-datado; por lo que se debe extraer más de dos radios de leño en cada árbol muestreado; para realizar un mejor análisis, así como determinar más rápidamente anillos de crecimiento falsos.

Al momento de preparar las muestras en la dupla sierra, para irradiarlas con la metodología de rayos X, se perdieron muchas muestras, debido a la fragilidad al ser sometidas por la fuerza y velocidad de las sierras, se debería sacar muestras con extractor mecanizada, para tener menos pérdida de material al momento de prepararlos.

Es necesario realizar estudios de marcación cambial, realizando un muestreo en periodos cortos (cada 15 días), para poder determinar en qué mes, comienza a realizarse la diferenciación del cambium, y la formación del anillo, además de ser interesante colocar fajas dendrométricas en árboles de diferentes DAP.

La influencia de la precipitación media en el crecimiento de los árboles de *Cedrelinga cateniformis* evidencio ser un factor limitante que condiciona la formación del anillo de crecimiento, es necesario realizar más estudios ecofisiológicos, para poder explicar mejor, los resultados obtenidos en ambos sitios, debido a que existe una serie de factores locales, que influyen en el crecimiento de los árboles que hace necesario entenderlos. Así mismo se observo que existe una sensibilidad en el crecimiento en los meses de Enero - Abril y Mayo, relacionándose con los meses previos de floración y fructificación de la especie.

7 BIBLIOGRAFIA:

ABADIE, G. 1976. Caracterización del tipo de bosque de terraza en la zona de Jenaro Herrera (Iquitos). Tesis Ing. forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 70 p.

AKACHUKU, A.E. 1981. Estimation of volume and weight growth in *Gmelina arborea* with X-ray densitometer. In: FOREST RESOURCE INVENTORY, GROWTH MODELS, MANAGMENT PLANNING AND REMOTE SENSING, Orono. Proceedings. Orono: University of Maine, The Plate Tree Institute of the School of Forest Resources. p.105-113.

AKACHUKU, A.E. 1984. The possibility of tree selection and breeding for genetic improvement of wood properties of *Gmelina arborea*. Forest Science, v.30, n.2, p.275-283.

AKACHUKU, A.E. 1985^A. The effects of some extrinsic and intrinsic factors on the proportion of vessels in *Gmelina arborea* Roxb. Wood Science Technology, v.19, n.1, p.5-12.

AKACHUKU, A.E. 1985^B. Intra-annual variation in wood density in *Gmelina arborea* from x-ray densitometry and its relations with rainfall. Tree Ring Bulletin, v.45, p.43-55.

AKACHUKU, A.E.; BURLEY, J. 1979. Variation of anatomy of *Gmelina arborea* Roxb. in Nigerian plantations. IAWA Bulletin, v.4, p.94-99.

AKOUN, J.; ADEDIRE, M.O.; EMEFIELE, A. 1985. Preliminary study of wood density variations in some provenances of *Gmelina arborea* Roxb.; using the pilodyn wood tester. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE FORESTRY

- ASSOCIATION OF NIGERIA, 15, Yola. Proceedings. Yola: Nigeria Forestry Association of Nigeria. p. 229-238.
- ALENCAR, J. DA C.; ARAÚJO, V. C. de. 1980. Comportamento de espécies florestais amazônicas quanto à luminosidade. Acta amazonica, Manaus: INPA. 10(8): 435-444.
- ALVIN, P. 1964. Tree Growth Periodicity in Tropical Climates. In: Zimmemann, M. H. The Formation of Wood in Forest Trees. New York: Academic Press, 1964. p. 479 – 495.
- AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. 1997. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda*, através da microdensitometria de raios X. In: MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS, 4, Poços de Calda. Programas e resumos... São Paulo: SBF. p. 202.
- AMARAL, A.; TOMAZELLO, M. 1998. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* através de microdensitometria de raios X. Revista Ciência e Tecnologia, v.11/12, n.6, p.17-23.
- AREND, M.; FROMM, J. 2003. Ultrastructural changes in cambial cell derivatives during xylem differentiation in poplar. Plant Biology, v.5,n.3, p.255-264.
- AROSTEGUI, V. 1970. Descripción de las propiedades físico-mecánicas y usos de las maderas del Perú. Centro de Investigaciones Forestales, Lima, Perú. 102 pp.
- ARÓSTEGUI, A. 1974. Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. In Estudio tecnológico de maderas del Perú (zona Pucallpa). Ministerio de Agricultura/Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. V. 1, 483 p.

- AROSTEGUL A.; DIAZ, M. 1992. PROPAGACIÓN DE ESPECIES FORESTALES, NATIVAS PROMISORIAS EN JENATO HERRERA. IQUITOS, PERÚ, IAP/INTERCOOPERATION/ COTESU. 119 P.
- BAAS, P.; WERKER, E.; FAHAN, A. 1983. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Journal*, v.4, n.2/3, p.141-160.
- BEARD, J. S. 1944. Climax vegetation in tropical America, *Ecology*, Vol. 25: págs. 127-158.
- BISSING, D.R. 1982. Variation in qualitative anatomical features of the xylem of selected dicotyledon woods in relation to water availability. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, v.109, n.3, p.371-384.
- BOTOSSO, P.; VETTER, R. 1991. Alguns aspectos sobre a periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais de floresta de Terra Firme (Amazônia). *Revista do Instituto Florestal, São Paulo*, v. 3, n. 2, p. 163–180.
- BOTOSSO, P. 2000. Periodicidade do crescimento e aspectos de formação da madeira de algumas espécies arbóreas ocorrendo em áreas de matas mesófilas semidecíduas da região sudeste do Estado de São Paulo: dendrocronologia e dendroecologia. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais. 85 p. Relatório FAPESP - Programa de Pós-Doutorado.
- BOTOSSO, P.; TOMAZELLO FILHO, M. 2001. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARELLA, W. (Org.). *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: EDUC. p. 145-171.

- BORCHERT, R. 1994. Water status and development of tropical trees during seasonal drought. *Trees Struct Funct* 8:115–125
- BORCHERT, R. 1999. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. *IAWA J* 20:239–247
- BRAGA, P.I.S. 1979. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico de floresta amazônica. *Acta Amazonia*, 9(4): 53-80
- BRACK, E. 1999. Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú. Cusco: CBC, 556 p., 24 láminas.
- BRAKO, L.; ZARUCCHI, J. 1993. Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. *Missouri Botanical Garden Monographs in Systematic Botany*. Sarasota, USA. V. 45, 1 288 p.
- BRIENEN, R.; ZUIDEMA, P. 2003. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. PROMAB / IGEMA, Informe Técnico N° 7, Riberalta, Bolivia. 33 p.
- BRIENEN, R.; ZUIDEMA, P. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rainforests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, cidade, v.146, p.1–12.
- BRIENEN, R.; ZUIDEMA, P. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forest: a test for six species using tree-ring analysis. In: BRIENEN, R. (Comp.). *Tree rings in the tropics, a study on growth and ages of Bolivian*

- rain forest trees. Riberalta: PROMAB. chap. 2, p 19-34. (Scientific Series, 10).
- BRIFFA, K. 1997. Trees and Indicators of Climate Change. Disponible en <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/annrep94/trees>. Consultado el 18 de Marzo del 2008.
- CASTILLO, A. & NALVARTE, W. 2007. Descripción dendrológica de 26 especies forestales de importancia comercial: Zonas de Tahuamano y Alto Huallaga. Cámara Nacional Forestal – ITTO. 74 p.
- CARDOSO, N. 1991. Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L.) – Verbenaceae. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - ESALQ, Piracicaba.
- CARLQUIST, S. 1984. Vessel grouping in dicotyledon woods: significance and relationship to imperforate tracheary elements. *Aliso*, v.10, p.505-525.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE). 1997. *Cedrela odorata*. Costa Rica, Proyecto Semillas Forestales (PROSEFOR). Nota técnica sobre manejo de semillas forestales No. 24. 2 p.
- CLAUSSI, A.; MARMILLOD, D.; BLASER, J. 1992. Descripción silvicultural de las plantaciones forestales de Jenaro Herrera. Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos (Perú): Centro de Investigaciones Jenaro Herrera. 334 p.

- CHAGAS, M. 2009. Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP. Piracicaba. 114 p
- CONAM. 2001. Informe Nacional del Estado del Ambiente. Lima. Perú. [Publicación digital: CD].
- COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L. 1989. Methods of dendrochronology: application on the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic. 394 p.
- COOK, E. y HOLMES, R. 1985. Program ARSTAN user manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- CHOWDHURY, K. 1961. Growth rings in tropical trees and taxonomy. Abstract 280, 10th Pacific Science Congress. Pacific Science Association, Honolulu.
- CLARK DA, CLARK DB, 1994. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa-Rican tropical rain-forest. *J Ecol* 82:865–872
- DAVILA, N., HONORIO, E., SALAZAR, V., 2008. Fichas de identificación de especies maderables de Loreto, Perú – IIAP, Proyecto Focal Bosques, Iquitos, 30 pp.
- D'ARRIGO, R.; BARBETTI, M.; WATANASAK, M.; BUCKLEY, B.; KRUSIC, P.; BOONCHIRDCHOO, S.; y SARUTANON, S. 1997. Progress in Dendroclimatic Studies of Mountain Pine in Northern Thailand. *IAWA journal*. Vol 18: 433-444.
- DECOUX, V.; VARCIN, E.; LEBAN, J.M. 2004. Relations between the intra-ring wood density assessed by x-ray densitometry and optical anatomical

measurements in conifers. Consequences for the cell apparent density determination. *Annals of Forestry Science*, v.61, p.251-262.

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. & 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. 1976. Nature et périodicité des cernes le bois d'Iroko. CTFT, Nogent – Sur-Marne: 20 p.

DÉTIENNE, P. 1989. Appearance and periodicity of growth in some tropical wood. *IAWA Bulletin* 10: 123-132.

DEVALL, M.; PARRESOL, B. y WRIGHT, S. 1995. Dendrocronological Analysis of *Cordia Alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in Central Panama. *IAWA Journal*. Vol 16: 411-424.

DUNISCH, O.; BAUCH, J. and GASPAROTTO, L. 2002. Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis*, and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *Iawa Journal* 23:101-119.

DUNISCH, O.; MONTOIA, V. and BAUCH, J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees-Structure and Function* 17:244-250.

- ECHOLS, R.M. 1973. Uniformity of wood density assessed from x-ray of increment cores. *Wood Science and Technology*, v. 7, n.1, p.34-44.
- ECKSTEIN, D.; ODGEN, J.; JACOBY, G. y ASH, J. 1981. Age and growth rate determination in tropical trees: The application of dendrochronological methods. En, *Age and growth rate of tropical trees; new directions for research*. F.H. Bormann y Berlyn, 83-106. Yale Univ., New Haven.
- ENCARNACIÓN, F. 1985. Introducción a la flora y vegetación de la Amazonía peruana: estado actual de los estudios, medio natural y ensayo de claves de determinación de las formaciones vegetales en la llanura Amazónica. *Candollea* 40: 237-252.
- ENCARNACIÓN, F. 1993. El Bosque y las formaciones vegetales en la llanura amazónica del Perú. *Alma Mater* 6:95-114.
- FAO-PAFBOL. 1995. Proyecto de apoyo a la coordinación e implementación del plan de acción forestal para Bolivia (gcp/bol/028/net). Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia, serie técnica XII. La Paz – Bolivia. 372 p.
- FICHTLER E, TROUET V, BEECKMAN H, COPPIN P, WORBES M. 2004. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees* 18:442–451
- FREITAS DA SILVA, M.; MEDEIROS, L.; ANGÉLICA DE LIMA, C. 1992. Leguminosas da Amazônia brasileira - II *Cedrelinga Ducke* (Leg. Mimos.).- Belém.
- FREITAS, L. 1996a. Caracterización florística y estructural de cuatro comunidades boscosas de la llanura aluvial inundable en la zona de Jenaro Herrera,

Amazonía Peruana. Documento Técnico N° 21. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 73 p.

FREITAS, L. 1996b. Caracterización florística y estructural de cuatro comunidades boscosas de terraza baja en la zona de Jenaro Herrera, Amazonía Peruana. Documento Técnico N° 26. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 77 p.

FRITTS, H. 1996. Some Principles of Dendrochronology Illustrated with Graphics. Disponible en <http://www.ltrr.arizona.edu/people/Hal/princ.htm>. Consultado el 15 de Mayo del 2008.

FRITTS, H. 1976. Tree Rings and Climate. New York. Academic Press. 567 p. London.

FRIMPONG-MENSAH, K. 1992. Wood quality variation in the tree of some endemic tropical species. In: ALL DIVISION 5 CONFERENCE ``FOREST PRODUCTS``, Nancy, 1992. Working sessions. Larraine: International Union of Forestry Research Organizations. v.1, p. 25-26.

FOSTER, R.B. 1990. The floristic composition of the Rio Manu floodplain forest. In Gentry, A.H. (ed.), *Four neotropical rainforests*. Yale University Press, New Haven. Pp. 99-111.

GAUTIER, L.; SPIGHIGER, R. 1986. Ritmos de reproducción en el estrato arbóreo del Arboretum Jenaro Herrera (provincia de Requena, departamento de Loreto, Perú) Contribución al estudio de la flora y de la vegetación de la Amazonía Peruana. Conservatorio y Jardín botánico de Ginebra. Organización Suiza para el desarrollo y la cooperación, Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana. 16 p.

- GENTRY, A. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, (75): 1-34.
- GENTRY, A.; ORTIZ-S., R. 1993. Patrones de composición florística en la Amazonia peruana. In Kalliola, R., Puhakka, M. and Danjoy, W. (eds), *Amazonia peruana vegetación húmeda subtropical en el llano subandino*. Proyecto Amazonia Universidad de Turku (PAUT) and Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). Jyväskylä, Finland. Pp. 155-166.
- GOURLAY, I. 1995. Growth rings characteristics of some African Acacia species. *Journal of Tropical Ecology*, v.11, n.1, p.121-140.
- GRISSINO-MAYER, H. 1997. Principles of Dendrochronology. <http://www.ltrr.arizona.edu/people/henri/princip.htm>. Consultado el 24 de Junio del 2008.
- GRISSINO-MAYER, H. 1996. Dendrochronology. Disponible en <http://www.sonic.net/bristlecone/dendro.html>. Consultado el 21 de Noviembre del 2008
- GRISSINO-MAYER, H. 2001. Evaluating crossdating accuracy: manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree Ring Research*, Tucson, v. 57, p. 205-221.
- GUILLEY, E.; HERVE, J.; NEPVEU, G. 2004. The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl. *Forest Ecology and Management*, v.189, p.111-121.
- VÁSQUEZ, R. 1991. Caraipa (Guttiferae) del Perú. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 78: 1002-1008.

- HOLDRIDGE, L. R. 1967. Ecología Basada en Zonas de Vida. Tropical Science Center. San José, Costa Rica., 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA.
- HOLDRIDGE, L. R.; GRENKE, W.; HATHEWAY; W.H.; LIANG, T.; TOSI, J.A. 1971. «Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study». Pergamon Press, Oxford.
- HOLMES, R. 1994. Dendrochronology: program manual. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research. 40 p.
- 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
- HUGHES, J.; ESAN, D. 1969. Variation in some structural features and properties of *Gmelina arborea*. Tropical Science, v.11, n.1, p.23-37, 1969.
- HUECK, K., 1966. Die Wälder Südamerikas. Ökologie, Zusammensetzung und wirtschaftliche Bedeutung. Gustav Fischer: Stuttgart.
- IAWA Committee. 1989. IAWA List of microscopic feature for hardwood identification. IAWA Bulletin, Leiden, v.10, n.3, p. 219 - 332.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 1991. Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. Brasília. 19 p
- INRENA. 1997. Diagnósticos regionales de la diversidad biológica- DGANPFS.
- INRENA. 2003. Bases del Concurso Público N° 004-2003-INRENA de los Bosques de Producción Permanente de Loreto. INRENA. 58 p.

JACOBY, G. 1989. Overview of Tree Rings Analysis in Tropical Regions. IAWA. Bull.n.s. Vol. 10: 99-108.

JOHANSEN, D.A. 1940. Plant microtechnique. New York: McGraw Hill. 523 p.

KAENNEL, M. & F. SCHWEINGRUBER. 1995. Multilingual glossary of Dendrochronology. Terms and definitions in English, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP, Birmensdorf.

KALLIOLA, R.; SALO, J.; MÄKINEN, Y. 1987. Regeneración Natural de Selvas en la Amazonía Peruana I: Dinámica fluvial y sucesión ribereña. Memorias (Mus. Hist. Nat. Javier Prado, Lima) 19A: 1-102.

KALLIOLA, R.; MÄKINEN, Y.; SALO, J. 1988. Regeneración Natural de Selvas en la Amazonía Peruana 2: Autecología de algunas especies sucesionales. Memorias (Mus. Hist. Nat. Javier Prado, Lima) 19B: 1-54.

KALLIOLA, R., PUHAKKA, M., SALO, J., TUOMISTO, H. & RUOKOLAINEN, K. 1991. The dynamics, distribution and classification of swamp vegetation in Peruvian Amazonia. *Annales Botanici Fennici* 28: 225-239.

KOGA, M. 1988. Matérias-primas fibrosas. In: PHILIPP, P. D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. . 2.ed., São Paulo: IPT. p. 15-44

KORIBA, K. 1958. On the periodicity of tree growth in the tropics. *Gardens' Bulletin, Singapore* 17:11-81.

- KVIST, L.; ANDERSEN, M.; HESSELSON, M.; VANCLAY, J.K. 1995. Estimating use-values and relative importance of Amazonian flood plain trees and forests to local inhabitants. En: *Commonwealth Forestry Review* 74: 293-200
- KVIST, L.P.; NEBEL, G. 1999. *A review of Peruvian flood plain forests: Ecosystems inhabitants and resource use*. Copenhagen: Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Economics and Natural Resources, Unit of Forestry. Unpublished manuscript.
- KVIST, L.P.; ANDERSEN, M.K.; STAGEGAARD, J.; HESSELSON, M.; LLAPAPASCA, C. 1999. *Extraction from woody forest plants in flood plain communities in Amazonian Peru: Evaluation, choice and conservation status of resources*. Copenhagen: Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Economics and Natural Resources, Unit of Forestry. Unpublished manuscript
- LAMPRECHT, H. 1990. *Silvicultura en los Trópicos: ecosistemas forestales y perspectivas especies arbóreas, posibilidades y métodos de aprovechamiento sostenible* Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 343 p.
- LARSON, P. 1994. *The vascular cambium: development and structure*. Berlin: Springer-Verlag. 725 p.
- LEI, H.; GARTNER, B.; MILOTA, M. 1997. Effect of growth rate on the anatomy, specific gravity, and bending properties of wood from 7-year-old red alder (*Alnus rubra*). *Canadian Journal of Forest Research*, v.27, n.1, p.80-85.

- LEÓN, W. y ESPINOZA DE PERNÍA, N. 2001. Anatomía de la madera. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Merida – Venezuela. 397 p.
- LISI, C.S.; LEMOS, A. V., y TOMAZELLO FILHO, M. 1999. Variación radial de la estructura anatomica de la madera de *Tabebuia heptaphylla* y *T. Impetiginosa*. Congreso Nacional de Botanica, 50. Santa Catarina 1999. Anais. Sao Paulo, Sociedad Botanica de Brasil.
- LISI, C. S. ; TOMAZELLO FILHO, M. ; BOTOSSO, P. C. ; ROIG, F. A. ; MARIA, V. B. R. ; FERREIRA-FEDELE, L. ; VOIGT, A. R. A. 2008. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *IAWA Journal* 29, p. 189-207.
- LOPEZ-PARODI, J.; FREITAS, D. 1990. Geographical aspects of forested wetlands in the lower Ucayali, Peruvian Amazonía. *Forest Ecology and Management* 33/34(1-4):157-168.
- LOJAN, L. 1968. Tendencias del crecimiento radial de 23 especies forestales del tropico. *Turrialba*. v.18, n.3, p. 275 – 281, jul/set.
- LOJAN, L. 1965. Aspectos de crecimiento diámetro quincenal de algunos árboles tropicales. *Turrialba*. v.15, n.3, p. 231 – 237.
- LOJAN, L. 1968. Periodicidad del clima y del crecimiento de especies forestales en Turrialba, Costa Rica. *Turrialba*. v.17, n.1, p. 71 - 83, jan/mar. 1967.
- MARCATI, C.R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. 1999. Alguns aspectos sobre a sazonalidade cambial em espécies tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTANICA, 50, 1999, Blumenau. Anais... Blumenau: UFSC. p. 15-27.

- McCARTHY, B. 1998. Dendrochronology Seminar. PBIO-69 Dendrochronology Seminar 500 Server. Ohio University.
- MALLEUX, J. 1971. Estratificación forestal con uso de fotografías aéreas. Universidad Nacional Agraria, Lima. Perú. V.1.
- MALLEUX, J., 1975. Mapa forestal del Perú, Memoria Explicativa, La Molina, Lima-Perú Universidad nacional Agraria.
- MALLEUX, J. 1982, Inventarios forestales en bosques tropicales. Universidad Nacional Agraria. Lima. Perú.
- MARIAUX, A. 1967. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité. Bois et Forêts des Tropiques, Nogent-sur-Marne, v. 113, pp. 3-14.
- MARIAUX, A. 1969. La périodicité des cernes dans le bois de Lima. Bois et Forêts des Tropiques, Nogent-sur-Marne, v. 128, pp. 39-53.
- MARMILLOD, D. 1982. Methodik und Ergebnisse von Untersuchungen fiber Zusammensetzung und Aufbau eines Terrassenwaldes im peruanischen Amazonien. Tesis Dr. forestal. Göttingen, Alemania, Georg August Universität. 198 p.
- MARTÍNEZ, L. 1996. A Guide to Dendrochronology for Educators. Disponible en <http://www.ltrr.arizona.edu/people/henry/lorim/lori.htm>. Consultado el 26 de Julio del 2008.
- MEDEIROS, J.G.S. 2005. Caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade

- de Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnis* Hook.: São Paulo, Piracicaba. 85 p.
- MEJIA, K. 1995. Diagnostico de Recursos Vegetales de la Amazonia Peruana. Documento Técnico N° 16. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos –Perú.
- MOTHE, F.; DUCHANOIS, G.; ZANNIER, B.; LEBAN, J. 1998. Microdensitometric analysis of wood samples: data computation method used at Inra-ERQB (CERD program). *Annals des Foresters Sciences*, v.55, n.3, p. 301-313.
- MOYA, R. 2005. Variação Da Anatomia e Da Densidade Básica da Madeira de *Gmelina Arborea* (Roxb.), em Diferentes Condições de Clima e de Manejo na Costa Rica. ESALQ – USP. Piracicaba / 201 p.
- MOYA. R, GÓMEZ, M. RIVERO, J. 2007. Clave de Identificación Macroscópica para 22 Especies Maderables de Bolivia. *REVISTA FORESTAL VENEZOLANA* 51(2) pp. 179-193
- NEBEL, G., L. KVIST, J. VANCLAY, H. CHRISTENSEN, ET AL. 2001. Structure and floristic composition of flood plain forests in the Peruvian Amazon I. Overstorey. *Forest Ecology and Management* 150: 27-57.
- NOBUCHI, T.; KAMI, C.; FUJITA, M. 1997. Radial variation of vessel and fiber dimensions in some plantation grown tropical trees as it relates to wood qualities. In: INTERNATIONAL TROPICAL WOOD “NEW TROPICAL TIMBER CROPS: CHALLENGES IN PROCESSING AND UTILIZATION”. Kuala Lumpur, 1997. Proceedings. Kuala Lumpur : Universiti Putra Malaysia, Faculty of Forestry. p.81-101.

- OHBAYASHI, H.; SHIOKURA, T. 1989. Anatomical structure of fast-growing tropical tree species with differing growth rates. IAWA Bulletin, v.10, n.3, p.342-343.
- OLSON, J.R.; ARGANBRIGHT, D.G. 1977. The uniformity factor. A proposed method for expressing variations in specific gravity. Wood Fiber, v.9, n.3, p.202-210.
- ONERN - Oficina de Evaluación de Recursos Naturales. 1976. Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa. Lima.
- PEACOCK, J.; BAKER, T.; LEWIS, S.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; PHILLIPS, O. 2007. The RAINFOR database: monitoring forest biomass and dynamics. Journal of Vegetation Science 18: 535-542.
- PEARSON, R.; BROWN, H. 1932. Commercial timber of India. New Delhi: Government of India Central Publication Branch, 1932. 600 p.
- PIRES, J. M. AND G. PRANCE. 1985. The vegetation types of the Brazilian Amazon. pp. 109-145. In: Key Environments: Amazonia. Prance, G. T. and Lovejoy, T. E., eds. Pergamon Press, Oxford, England.
- PRANCE, G. & SILVA, M. 1975. Árvores de Manaus. INPA, Manaus, AM, 312 p. ilustr.
- PRIYA, P.; BHAT, K. 1999. Influence of rainfall, irrigation and age on the growth periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). IAWA J 20:181–192.

- POLGE, H. 1963. Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois: l'analyse densitométrique de clichés radiographiques. *Annals of Forest Science, Les Ulis*. v.20, p.533–580.
- POLGE, H. 1978. Fifteen years of wood radiation densitometry. *Wood Science and Technology, Berlin*, v. 12, p. 187-196.
- PUMIJUMNONG N, ECKSTEIN D, SASS U. 1995 Tree-ring research on *Tectona grandis* on northern Thailand. *IAWA J* 16:385–392.
- KALLIOLA, R; PUHAKKA, M; DANJOY, W. 1993. Amazonía peruana: vegetación húmeda tropical en el llano subandino. Lima: INRENA. 265 p.
- KHAM, N. 1997. Common species for Tree Rings Dating. Disponible en <http://www.emporia.edu/S/www/earthsci/student/nang/treering.htm>. Consultado el 25 de Junio del 2008.
- REYNEL, C., R. T. PENNINGTON, T. D. PENNINGTON, C. FLORES & A. DAZA. 2003. Árboles Útiles de la Amazonía Peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Darwin Initiative y ICRAF, Lima, Perú.
- RICHTER, H. and M. J. DALLWITZ. 2000. 'Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 4th. Disponible en <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/english/index.htm>. Consultado el 24 de Julio del 2008.
- ROBERTS, K.; MC CANN, M. 2000. Xylogenesi: the birth of a corpse. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 3, p.517-522.

- RODRIGUEZ, R. 2008. Curso de Dendrocronología Básica. Universidad Privada de Piura – Laboratorio de Dendrocronología. 44 p.
- ROIG, F. 2000. Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. In: Roig F.. (Org.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: EDIUNC, 2000, v. p. 307-355.
- ROIG, F. A. ; DELGADO, S. 1996. Biogeografía de especies de uso potencial en estudios dendroclimáticos en la zona subtropical-templada de Sudamérica, 28 -38 S. In: IAI-Workshop: Potencial de los indicadores paleoclimáticos en la evaluación del impacto del cambio climático en los ecosistemas del cono sur de Sudamérica, Canela, Brasil.
- ROSETO, J. 2009. Dendrocronología de árboles de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru. Piracicaba, 129 p.
- SASS, J. 1951. Botanical microtechnique. 3rd ed. Iowa: State Press. 228 p.
- SABOGAL, C. 1990. Estudio de caracterización ecológico silvicultural del bosque Copal, Jenaro Herrera (Loreto-Perú). Tesis Ing. forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 397 p.
- SCHWYZER, A. 1981. La combinación de la regeneración artificial con la regeneración natural en el bosque húmedo tropical del Perú. Boletín técnico, Jenaro Herrera, Perú.
- SCHWYZER, A. 1988. Anillos de crecimiento en cuatro árboles tropicales. Boletín de Lima, número 58.

- SANDER, C. 1998. What is Dendrochronology?. Disponible en <http://www.dainet.de/bfh/ins4/chrono.htm>. Consultado el 15 de Agosto del 2008.
- SCHWEINGRUBER, F. 1996. Tree Rings and Environment Dendrochronology. Paul Haupt Publishers Berne. Stuttgart.
- SCHWEINGRUBER, F. 1988. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: D. Reidel. 276 p
- SCHINKER, M.G.; HANSEN, N.; SPIECKER, H. 2003. High-Frequency densitometry – a new method for the rapid evaluation of wood density variations. IAWA Journal, v.24, n.3, p.231-239.
- SPICHIGER, R.; MEROZ, J.; LOIZEAU P.; STUTZ DE ORTEGA, L. 1989. Contribución a la Flora de la Amazonía Peruana. Los Arboles del Arboretum Jenaro Herrera, vol 1. Conservatoire et Jardin Botaniques de Ginebra, Switzerland, 359 pp
- SPICHIGER, R.; MEROZ, J.; LOIZEAU, P.; STUTZ DE ORTEGA, L. 1990. Contribución a la Flora de la Amazonía Peruana. Los Arboles del Arboretum Jenaro Herrera, vol 2. Conservatoire et Jardin Botaniques de Ginebra, Switzerland, 565 pp.
- SPICHIGER, R.; LOIZEAU, P.; LATOUR, C.; BARRIERA, G. 1996. Tree species richness of a south-western Amazonian forest (Jenaro Herrera, Peru, 73°40'W/4°54S). Candollea 51: 559-577.
- Eshete, G.; Stahl, G. 1999. Tree rings as indicators of growth periodicity of acacias in the Rift Valley of Ethiopia. Forest Ecology and Management 116:107

- TOMAZELLO FILHO, M. 1985^a. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. *IPEF*, Piracicaba, n. 29, p. 37-45.
- TOMAZELLO FILHO, M. 1985^b. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. *IPEF*, Piracicaba, n. 30, p. 45-54.
- TOMAZELLO FILHO, M. 1987. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. *IPEF*, Piracicaba, n. 36, p. 35-42.
- TOMAZELLO FILHO, M.; CARDOSO, N. 1999. Seasonal variations of the vascular cambium of Teak (*Tectona grandis* L.) in Brazil. In: R. Wimmer & R.E. Vetter (eds.) *Tree Ring Analysis*: 147-154. England. CAB International.
- TOMAZELLO, M ; BOTOSSO, P.; LISI, C. 2000. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais.. In: ROIG F A. (Org.). *Dendrocronologia en America Latina*. Mendonza: EDIUNC.p. 381-431.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.; LISI, C. 2001. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELLA, W. (Org). *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: EDUC, COMPED, INEP. p. 117- 143.
- TOMAZELLO FILHO, M. 2006. Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. 146p. Tese (Livre

docência na área de ...) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TOSI J.A. 1960. Zonas de Vida Natural en el Perú. Memoria explicativa sobre el Mapa Ecológico del Perú. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la Zona Andina. Proyecto 29. Programa de Cooperación Técnica. Boletín Técnico Nº5.

Vásquez R., 1997. Flórula de las Reservas Biológicas de Iquitos, Perú. Allpahuayo Mishana Explornapo Camp Explorama Lodge. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Garden. Vol 63.

VITAL, B. 1984. Métodos de determinação da densidade da madeira Viçosa: SIF. 21p. (Boletim Técnico, 1)

VILLAR, P.; CASTRO, P.; PÉREZ, P.; MONTSERRAT-MARTÍ, G. 1997. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. *Trees-Structure and Function*, v.12, n. 2, p. 90-96.

VETTER, R.; BOTOSSO, P. 1988. Observações preliminares sobre a periodicidade e taxa de crescimento em árvores tropicais. *Acta Amazônica*, Manaus, v, 18, n. 1/2, p. 189-196.

VETTER, R. & BOTOSSO, P. 1989. Remarks on age and growth rate periodicity of Amazonian trees. *IAWA Journal*, Leiden, v. 10, n. 2, p. 133-145.

VETTER, R.E. 2000. Growth periodicity and age of Amazonian tree species. Methods for their determination. In: F.A. Roig (ed.), *Dendrocronología en América Latina*: 135–155. Mendoza.

- VIDAURRE, H. E. 1997. Balance de experiencias silviculturales con *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (Mimosoideae) en la región de Pucallpa, Amazonía Peruana. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Iquitos, Perú.
- WALKER, N.; DOBB, R. 1988. Calculation of wood density variation from x-ray densitometer data. *Wood and Fiber Science*, v.20, n.1, p.35-43.
- WANG, L.; PAYETTE, S.; BÉGIN, Y. 2002. Relationships between anatomical and densitometric characteristics of black spruce and summer temperature at tree line in northern Quebec. **Canadian Journal of Forest Research**, v.32, n.3, p.477-486.
- WORBES, M. 1984. Periodische Zuwachszonen an Bäumen zentralamazonischer Überschwemmungswälder. *Naturwissenschaften* 71: 157-158.
- WORBES, M. 1985. Structural and other adaptations to long-term flooding by trees in Central Amazonia. *Amazonia* 9: 459– 484.
- WORBES, M. 1989. Growth rings, increment and age of trees in inundation forest, savannas and a mountain forest in the Neotropics. *IAWA Bull.* n.s. 10: 109 - 122.
- WORBES, M. 1994. Bestimmung der Holzproduktion in neotropischen Waldbeständen mit Hilfe von Jahresringuntersuchungen. *Angewandte Botanik Berichte* 5, Hamburg: 31-35.
- WORBES, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees - A review. *Iawa Journal* 16:337-351.

- WORBES, M.; JUNK, W. 1999. How old are tropical trees? The persistence of a myth. *Iawa Journal* 20:255-260.
- WORBES, M.; KLOSA, D.; LEWARK, S. 1995. Rodichtestruktur von jahresringen hölzer aus zentralamazonischen überschwemmungswäldern. *Holz als Rosh-und Werstoff*, v.53, p.63-67.
- WORBES, M.; STASCHEL, R.; ROLOFF, A.; JUNK, W. 2002. Tree Ring Analysis Reveals Age Structure, Dynamics and Wood Production of a Natural Forest Stand in Cameroon: Forest Ecology and Management (in press)
- WORBES, M.; STASCHEL, R.; ROLOFF, A.; JUNK, W. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *For. Ecol. and Manage.* 173: 105–123.
- WRIGHT, S.; CORNEJO, F. 1990. Seasonal drought and leaf fall in a tropical forest. *Ecology* 71:1165–1175
- YÉPEZ, F. 2007. Plan General de Manejo Forestal de las Plantaciones Forestales en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera. Informe Técnico.
- ZEEUW, C.; GRAY, R. 1972. Specific gravity variation in *Gmelina arborea* Roxb. *IAWA Bulletin*, v.3, n.5, p.3-11.
- ZIMMERMANN, M. 1974. Xylem structure and the ascent of sap. New York: Springer-Verlag. 153 p.
- ZIMMERMANN, M. 1982. Transport in the xylem. In: ZIMMERMANN, M.; BROWN, C.L. Trees structure and function. New York: Springer-Verlag. 365 p.

ZOBEL, B. 1984. The changing quality of the world wood supply. *Wood Science and Technology*, v.18, n.1, p.1-18.

ZOBEL, B.; VAN BUIJTENEN, B. 1988. *Wood variation: its causes and control*. New York: Springer Verlag. 363 p.

8 ANEXO:

Tabla 11 Análisis estadístico de los elementos anatómicos en árboles de *Cedrelinga cateniformis* de la Plantación 401-74 del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.

VARIABLES (FRECUENCIA DE VASOS) PLANTACIÓN 401-74	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	1,75	0,717						
	1,39	0,268	12	0,361	0,734	1,701	11	0,117
(Medula) x (corteza)	1,65	0,665						
	1,32	0,525	11	0,334	0,840	1,320	10	0,216
(Medula-corteza) x (corteza)	1,38	0,278						
	1,32	0,525	11	0,059	0,671	0,292	10	0,777

VARIABLES (% DE VASOS) PLANTACIÓN 401-74	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	11,18	2,559						
	12,46	3,124	12	1,283	4,620	0,962	11	0,3568
(Medula) x (corteza)	11,23	2,678						
	8,16	4,166	11	3,064	3,500	2,904	10	0,0157
(Medula-corteza) x (corteza)	12,77	3,084						
	8,16	4,166	11	4,605	5,964	2,561	10	0,0283

VARIABLES (DIÁMETRO DE VASOS) PLANTACIÓN 401-74	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	305,06	97,212						
	300,27	84,305	77	4,788	127,565	0,329	76	0,743
(Medula) x (corteza)	327,98	81,392						
	255,58	88,050	67	72,399	121,373	4,883	66	0,000
(Medula-corteza) x (corteza)	303,46	83,841						
	255,58	88,050	67	47,879	115,858	3,383	66	0,001

VARIABLES (LONGITUD DE FIBRAS) PLANTACIÓN 401-74	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	1237,68	189,95						
	1418,07	288,56	35	-180,39	363,08	-2,94	34	0,006
(Medula) x (corteza)	1240,96	188,25						
	1437,90	182,44	36	-196,94	288,54	-4,10	35	0,000
(Medula-corteza) x (corteza)	1418,07	288,56						
	1439,95	184,68	35	-21,88	352,70	-0,37	34	0,716

VARIABLES (GROSOR DE PARED DE FIBRAS) PLANTACIÓN 401-74	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	4,66	0,91						
	4,37	1,10	31	0,295	1,152	1,425	30	0,164
(Medula) x (corteza)	4,67	0,89						
	5,13	0,96	25	-0,454	1,337	-1,696	24	0,103
(Medula-corteza) x (corteza)	4,50	1,18						
	5,12	0,99	24	-0,628	1,850	-1,662	23	0,110

Tabla 12 Análisis estadístico de los elementos anatómicos en árboles de *Cedrelinga cateniformis* del Bosque en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.

Variables (Frecuencia de vasos) Bosques C.I.J.H.	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	1,472	0,464						
	1,147	0,254	20	0,325	0,546	2,66	19	0,016
(Medula) x (corteza)	1,489	0,465						
	1,693	0,491	17	-0,204	0,538	-1,56	16	0,138
(Medula-corteza) x (corteza)	1,197	0,243						
	1,693	0,491	17	-0,496	0,581	-3,52	16	0,003

Variables (% vasos) Bosques	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	6,768	2,528						
	7,803	2,059	20	-1,036	2,807	-1,650	19	0,115
(Medula) x (corteza)	7,202	2,469						
	9,913	2,570	17	-2,711	2,135	-5,237	16	0,000
(Medula-corteza) x (corteza)	8,193	1,952						
	9,913	2,570	17	-1,720	2,804	-2,530	16	0,022

Variables (Diametro de vasos) Bosques	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	245,15	61,265						
	273,79	53,410	106	-28,639	83,735	-3,521	105	0,001
(Medula) x (corteza)	239,37	61,853						
	275,15	67,351	128	-35,776	85,386	-4,740	127	0,000
(Medula-corteza) x (corteza)	273,79	53,410						
	274,14	70,239	106	-0,349	85,302	-0,042	105	0,966

Variables (Longitud de fibras) Bosques	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	1362,11	163,72						
	1274,95	126,11	33	87,154	183,843	2,723	32	0,010
(Medula) x (corteza)	1382,10	152,20						
	1215,77	98,12	45	166,338	174,242	6,404	44	0,000
(Medula-corteza) x (corteza)	1274,95	126,11						
	1220,36	100,06	33	54,588	166,671	1,881	32	0,069

Variables (Grosor de pared de fibras) Bosques	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	t	df	p
(Medula) x (Medula-corteza)	5,22	0,816						
	5,99	1,059	18	-0,765	1,344	-2,416	17	0,027
(Medula) x (corteza)	5,17	0,813						
	5,02	0,861	28	0,147	1,264	0,615	27	0,544
(Medula-corteza) x (corteza)	5,99	1,059						
	5,10	0,958	18	0,888	1,311	2,872	17	0,011

Tabla 13 Análisis estadístico de los elementos anatómicos en árboles de *Cedrelinga cateniformis* de la Plantación 401-74 y del Bosque en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.

Variables (plantación x bosque)	Media	Std.Dv.	N	Std.Dv. Diff.	Std.Dv.Diff.	p
Frecuencia de vasos	1,49	0,555				
	1,36	0,391	35	0,130	0,662	0,254
% de vasos	10,67	3,693				
	7,46	2,309	35	3,212	4,604	0,000
Diámetro de vasos	300,27	84,305				
	243,31	62,383	77	-56,957	102,976	0,000
Longitud de fibras	1365,15	239,497				
	1272,93	141,643	107	-92,221	252,036	0,000
Grosor de pared de fibras	4,49	1,011				
	5,33	0,978	75	-0,845	1,321	0,000

Tabla 14 Datos de Precipitación de la estación meteorológica de Jenaro Herrera para el período de 1979 – 2007.

Años	PRECIPITACIÓN (mm)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1979	537	2364	1029	1395	3622	833	934	2238	581	1801	1343	2576
1980	2273	2360	2555	1157	1128	2705	2092	1958	2034	3676	2085	824
1981	2679	3270	1580	3787	2279	1380	1134	2522	1746	2797	1482	2635
1982	2248	2638	2067	3785	2207	2152	1535	1383	2657	1657	2074	3775
1983	2739	2261	1837	2607	2611	946	1272	1003	1895	2412	2749	1675
1984	2683	2148	2079	4047	2703	1298	1432	2040	2100	3141	2325	3696
1985	613	3176	1858	2870	2159	1878	3051	1806	1764	2397	2445	2254
1986	1888	2004	3648	3312	2389	1509	1558	1285	2003	2345	1747	2362
1987	4511	4623	1795	3767	957	1780	2264	1495	1999	2407	3574	2531
1988	1456	2804	1530	2703	1798	901	1347	662	1158	2481	2547	2460
1989	2943	2204	1963	4225	3352	2043	1320	1794	2203	2283	1326	1738
1990	5933	1040	2148	1339	2181	1980	1062	1370	1320	1810	3777	3711
1991	1293	2427	1746	2542	2499	2051	606	743	1636	1541	1679	1785
1992	2061	1676	2486	4959	1584	2029	911	1987	1974	2313	1560	2357
1993	2982	2523	3985	2707	1770	2497	1592	1282	1928	1671	3473	1548
1994	2769	2717	4442	3639	1205	2614	1508	1603	1560	2707	2112	2845
1995	3007	1643	2566	1559	2407	1633	794	567	2492	1663	1263	4791
1996	1922	2417	2436	2978	3663	1563	646	1564	2344	2038	2211	2938
1997	1843	4021	2908	2776	5838	1851	328	1081	1267	944	3045	4003
1998	2354	3192	4494	4356	2106	1547	1114	596	614	3089	1651	1766
1999	3326	3641	3861	1917	2973	2267	1716	1402	725	1261	2170	1977
2000	2025	2077	3769	3748	2804	1642	1053	2317	1592	2045	1411	2308
2001	2802	1831	3872	3967	1620	1222	1828	1945	1649	1907	1772	2295
2002	1593	1643	3334	3606	3562	968	7610	2181	1022	1785	3172	2245
2003	2269	2313	2456	2553	1986	3049	1213	1463	1904	1918	1863	2586
2004	779	1893	2016	3323	2232	1739	3557	2334	708	3094	3082	1763
2005	3215	1978	1536	2797	2030	2071	756	570	1057	3194	2393	2715
2006	2469	2895	3449	1920	1929	1993	1419	1299	833	1131	1474	1401
2007	1129	498	1465	781	667	745	402	1518	1137	2036	2203	2305

Tabla 15 Datos de Temperatura de la estación meteorológica de Jenaro Herrera para el período de 1979 – 2007.

Meses	TEMPERATURA °C											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1979	273	269	268	265	264	252	253	264	266	274	268	272
1980	273	280	270	271	268	259	257	258	270	267	271	274
1981	273	262	274	271	270	256	247	264	263	273	273	274
1982	269	267	270	264	263	265	260	263	270	275	274	271
1983	281	280	282	274	274	259	267	261	276	272	278	273
1984	268	265	274	268	272	263	254	259	267	275	275	270
1985	281	273	274	272	267	255	255	260	271	280	274	274
1986	271	272	266	271	271	262	254	269	264	270	275	271
1987	271	270	278	273	261	263	272	266	276	281	282	281
1988	275	277	273	274	270	251	250	276	274	275	266	271
1989	264	271	270	269	262	262	256	270	269	272	281	280
1990	267	272	277	275	269	263	259	265	267	268	274	278
1991	278	282	272	273	278	267	261	256	270	270	269	276
1992	278	278	277	281	284	271	256	261	268	274	273	271
1993	260	271	270	271	269	265	262	260	272	274	275	279
1994	276	270	269	271	271	267	259	270	275	277	275	276
1995	276	281	280	273	271	265	268	271	270	281	280	276
1996	274	278	276	273	273	258	264	266	266	273	272	269
1997	274	262	268	269	259	263	263	261	275	281	276	273
1998	277	282	281	277	265	256	260	270	273	274	268	273
1999	267	266	271	258	261	259	253	258	271	268	268	270
2000	270	268	265	264	264	258	246	264	270	270	275	268
2001	265	262	268	268	265	247	255	263	268	275	274	270
2002	264	269	269	267	266	257	257	255	268	271	270	270
2003	273	273	268	269	261	261	255	261	258	271	271	259
2004	275	267	269	272	256	251	256	258	266	273	273	269
2005	273	270	272	267	266	263	255	264	265	272	271	269
2006	267	273	269	267	254	261	260	262	271	278	273	273
2007	275	279	259	270	251	255	257	261	265	272	270	268

Tabla 16 Árboles de *Cedrelinga cateniformis*, muestreados en el Bosque del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.

IIAP		PET Centro Investigaciones Jenaro Herrera Árboles del Bosque en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera									
Nombre evaluador		Tecnico Gaspar							Fecha de muestreo: 02/06/2008		
Codigo árbol	Coordenadas geográficas (UTM)		DAP (cm)	Altura Total (m)	Altura Fuste (m)	Forma copa	Iluminación copa	Calidad fuste	Análisis Utilizado		
	N	E							Anatomía	Densitometría	Dendrocronología
T01	9459242	650836	37,5	19	16,00	3	1		X		
T02	9459219	650834	40,2	20	17	3	1		X	X	X
T03	9459135	650810	52	21	18	2	1		X	X	X
T04	9459144	650823	31	21	16	2	1		X		
T05	9459055	650950	1	24	20	2	1		X	X	X
T06	9459082	650988	78	25	23	1	1		X	X	X
M07	9459609	650870	58	25	23	2	1				
M08	9459620	650908	46	28	25	2	1				
M09	9459579	650939	53,8	26	23	2	1				
T10	9458192	650709	1,1	26	21	2	1			X	X
M11	9458192	650709	45	23	19	2	2				
M12	9458189	650711	25,8	20	15,00	2	2				
T13	9459551	651160	95	26	23	2	1			X	X
T14	9459607	650800	48	27	24	2	1				
M15	9459633	650792	52,2	24	18	2	1				
T16	9459696	650825	38,8	26	22	2	1				
M17	9459718	650823	43,5	20	12	2	1				
T18	9459711	650812	50,5	27	23	2	1			X	X
M19	9457799	648879	35,8	17	13	2	1				
M20	9457191	648539	36,8	18	11	2	1				
M21	9457522	648305	60	13,5	2,5	2	3				
M22	9457522	648305	63,5	14	2	3	1				
23	9456776	648512	30	21	1,5	2	1				
24	9456757	648510	24,2	23	40	2	1				
25	9457177	649067	22,8	21	2,5	2	2				
26	9457662	649439	71	21	16,00	2	1				
27	9459701	650865	56	22	18	2	1				
28	9459754	650907	49,8	21	19	2	1				
29	9459741	650849	38,5	21	16	1	1				
30	9459737	650885	52	22	10	2	2				
T31	9460063	651218	76,5	22	18	2	1			X	X
32	9460069	651191	63	20	17	3	1				
33	9459880	650610	73,5	21	18	3	1				
34	9459304	649706	1,5	26	23	1	1				

Tabla 17 Árboles de *Cedrelinga cateniformis*, muestreados en la Plantación 401-74 del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.

PET												
Plantaciones Forestales											CIJH	
Centro Investigaciones Jenaro Herrera												
Evaluación Condición Silvicultural Remanente												
IIAP												
Nº Plantación		401							Fecha		02/06/2008	
Nombre evaluador		Tecnico Gaspar							Coordenada		649532	
Especie		Cedrelinga cateniformes "tornillo", Simarouba amara "marupa"							geográfica		9458319	
Fila	Codigo árbol	Dist. (m)	Coordenadas geográficas (UTM)		DAP cinta (cm)	DAP (cm)	Altura Total (m)	Altura Fuste (m)	Análisis utilizado			Observaciones
			N	E					A natomia	Densitometria	Dendrocronologia	
1	73	-	649541	9458295	1,50	47,7	27	17	X	X	X	tornillo
2	91	-	649535	9458287	1,70	54,1	29	14	X	X	X	tornillo/nudo
3	94	6	649591	9458287	1,62	51,6	20	12	X	X	X	tornillo torcido
4	191	-	649535	9458247	3,05	97,1	30	12		X	X	tornillo
5	255	20	649557	9458223	1,14	36,3	25	12	X	X	X	tornillo
6	258	12	649587	9458223	2,41	76,7	26	13	X	X	X	tornillo
7	294	6	649545	9458209	2,02	64,3	28	18	X	X	X	tornillo
8	297	12	649557	9458209	2,00	63,7	28	14		X	X	tornillo
9	299	12	649569	9458209	2,20	70,0	28	14		X	X	tornillo
10	351	-	649531	9458185	2,41	76,7	28	11	X	X	X	tornillo
11	471	-	649535	9458137	2,47	78,6	28	14		X	X	tornillo
12	495	4	649557	9458129	1,05	33,4	25	12		X	X	tornillo
13	516	3	649563	9458121	1,60	50,9	28	13		X	X	tornillo
14	518	6	649572	9458121	1,35	43,0	28	12		X	X	tornillo
15	613	-	649583	9458081	1,40	44,6	28	14		X	X	tornillo
16	617	12	649551	9458081	1,80	57,3	26	14		X	X	tornillo