

Anatomía y Densitometría de rayos X en árboles de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (FABACEAE) del Centro de investigaciones Jenaro Herrera, Loreto.

Campos Zumaeta, Luis Enrique ¹ Tomazello Filho, Mario ^{1,2} Sergio Lisi, Claudio ^{1,2} Dennis del Castillo ² Yopez Alza, Federico ² Yopez, David ³ Jim Vega Arenas² Bardales Soria Jorge ¹

RESUMEN

En el presente estudio 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) 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 la sonda motorizada para extraer las muestras radiales del tronco. Se caracterizó la estructura anatómica del leño y de los anillos de crecimiento. 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, El análisis de los perfiles radiales 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 g/cm³), 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, demostrando el potencial de esta técnica para el análisis anatómico.

ABSTRACT

In the 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) 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 was used to extract samples from the trunk. The used of X-ray densitometry technique, and the results obtained showed that there are growth rings distinct identified by fibrous darkest cross preceded by a decrease in the frequency of vessels, 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, demonstrating the potential of this technique for the anatomy analyses of the wood.

1 ESALQ - Universidad de São Paulo. Lenriquecampos@gmail.com ; mtomazel@esalq.usp.br; cslisi@ufs.br

2 Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – PET. dennis@iiap.org.pe; fyopez@iiap.org.pe

3 Universidad Nacional Agraria la Molina

I. INTRODUCCIÓN

América Latina posee una heterogeneidad extraordinaria de ecosistemas, y en todos los aspectos referentes a la diversidad biológica, el Perú está entre los 10 países conocidos como "Países Megadiversos", por la complejidad de ecosistemas, de especies, de recursos genéticos y de culturas aborígenes con conocimientos resaltantes por lo se hace primordial mayores investigaciones, consecuentemente la densitometría de rayos X en maderas, se presenta como una ventajosa herramienta que permite establecer con alta precisión estudios en especies forestales, permitiendo analizar 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).

Así 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 y recientemente 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, de esta manera el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera (C.I.J.H.); es un área de investigación que da las condiciones necesarias para la aplicación de estos estudios utilizando las diversas especies forestales de población natural y de plantaciones.

Los árboles de *Cedrelinga cateniformis* con plantaciones forestales de 1969, de rápido crecimiento y con buenos resultados silviculturales son potenciales para aplicar esta importante herramienta, la literatura favorable para el desarrollo de investigaciones aplicado a árboles de especies tropicales, que dan énfasis a *Cedrelinga cateniformis* dando la posibilidad de evaluar la calidad de la madera en diferentes ecosistemas, bajo diferentes edades, con el uso de la técnica de la densitometría de rayos X así el presente trabajo busca caracterizar y analizar el leño y los anillos de crecimiento en árboles de *C. cateniformis*, en la plantación 401-74 y del bosque en el (C.I.J.H.), Región Loreto, con la finalidad de validar de la calidad del leño por la técnica de densitometría de rayos X.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera – Loreto

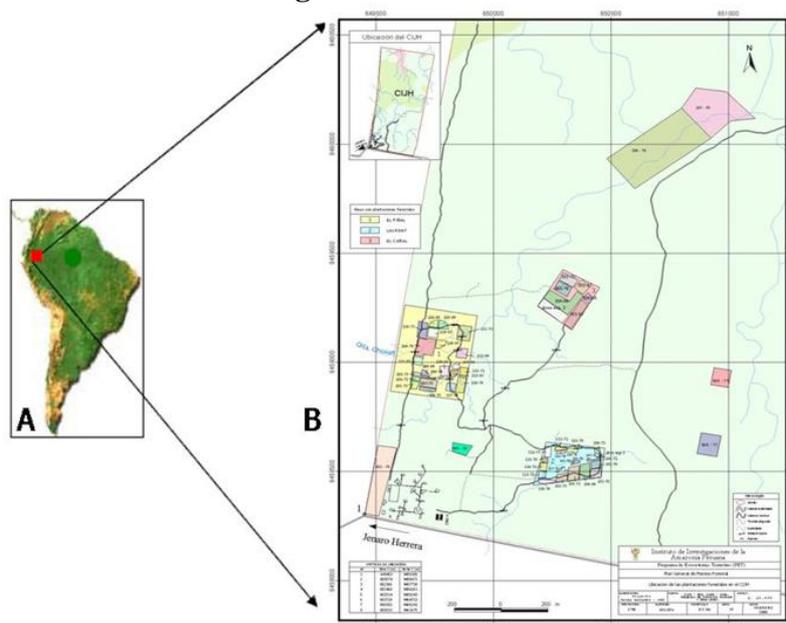


Figura 1. Centro de Investigaciones Jenaro Herrera, Requena – Perú. Fuente: (Yepes, 2007). A- Ubicación de la Región Loreto. B- Mapa del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera.

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).

2.2 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), (Gautier y Spichinger, 1986).

2.3 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 & Freitas, 1990).

2.4 Suelos

Las plantaciones han sido instaladas sobre suelos de diferentes texturas que van desde arena franca hasta franco arcillo arenoso. 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 areno arcilloso a arcilloso arenoso (Abadie, 1976; Sabogal, 1990; Marmillod, 1982; Claussi et al., 1992).

2.5 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 una Sonda

metálica corta acoplado a un extractor motorizado, 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, Brasil (Figura 2).



Figura 2. A. Sonda metálica corta acoplado a un extractor motorizado B. Extracción de las muestras de leño en árboles de *Cedrelinga cateniformis*. C. Detalle de muestra extraída por la sonda motorizada.

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

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

2.6.1 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 granulados (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.

2.6.2 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* 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.

Las sub muestras de leño fueron transferidas para tubos de ensayo (ácido 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., posteriormente fueron aplicados Test estadísticos (Test de Tukey) para determinar si existe diferencias significativas en la estructura anatómica de la especie en ambos sitios analizados.

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

2.7.1 Preparación de las muestras de leño

Las muestras radiales de leño en árboles de *C. cateniformis* fueron coladas en soporte de maderas y cortadas en la sección transversal (2,0 mm de espesor) con una dupla sierra circular paralela (Figura 3A). Las secciones transversales del leño (figura 3B) fueron acondicionadas en cámaras climatizadas a 20 °C, con 50% UR, hasta conseguir el 12% de humedad.

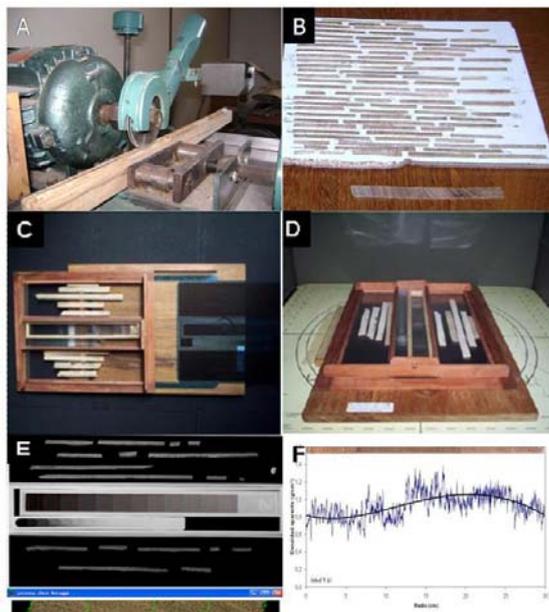


Figura 3. Metodología de rayos X y obtención de los perfiles radiales de densidad en el leño de *Cedrelinga cateniformis*. A- Corte de las muestras de leño en el equipamiento de dupla sierra. B- Sección transversal de las muestras de leño. C- Soporte de las muestras de leño y de la cuña de calibración 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*.

2.7.2 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 3 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, 1997, 1998).

2.7.3 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 g/cm³), 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 3E) considerando 500 x 10 (largura x ancho) determinándose la densidad para los segmentos de 25 % de largo de las muestras de leño.

2.7.4 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 3F), conforme realizado por (Mothe et al., 1998).

2.7.5 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*.

III RESULTADOS

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 4).

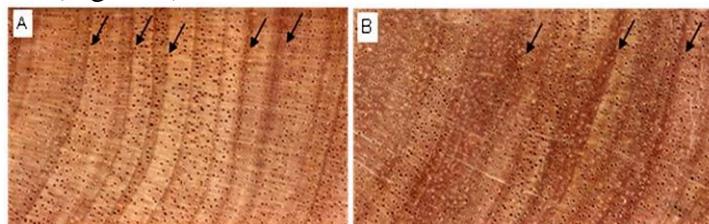


Figura 4 Diferencia del ancho de los anillos de crecimiento de *C. cateniformis*. (A) Árboles del bosque del C.I.J.H.; (B) árboles de la plantación 401-74

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 4) 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 las aplicaciones como identificadoras anuales de eventos climáticos (Rosero, 2009; Moya, 2005; Cook, 1989; Fritts, 1976; Schwiengruber, 1998; Lisi et al., 2008; Tomazello et al., 2001; Botosso et al., 2001).

Densitometría de rayos X y su aplicación en 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. permiten cuantificar ciertas parámetros para determinar la calidad de la madera, así como sus diferencias entre sitios y árboles.

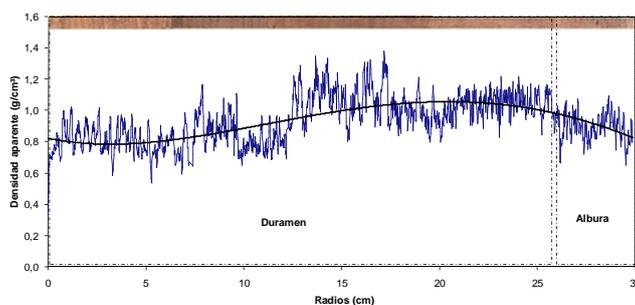


Figura 5 Perfil radial de densidad aparente del leño de árboles de *C. cateniformis*, con tendencia de crecimiento y diferenciación de duramen y albura.

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 5). 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 promedios 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/cm³ y para la plantación 401-74 fueron de 0,58, 0,30 y 0,89 g/cm³, 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, en comparación con los árboles del centro y entre el centro-borde de la plantación. Asimismo los perfiles radiales de densidad en árboles de *C. cateniformis* del bosque del C.I.J.H. no mostraron una tendencia común. 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, 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 presentan diferencias significativas: los árboles de la plantación muestran un mayor porcentaje y diámetro de vasos 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 al 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 la proporción de vasos y las dimensiones de las fibras, asimismo la espesura de las fibras se constituye más una variable que afecta estadísticamente las variaciones de densidad de la madera.

Análisis Estadístico en la Estructura Anatomía del Leño de *C. Cateniformis*

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 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; en árboles de la plantación 401-74 se observa un aumento en la espesura de la pared, predominantemente en el área cerca a la corteza, esto puede explicarse por las diferencias de competición 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). (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. 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, en el sentido medula-corteza. Se encontró 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, 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, 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* mostró 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, 1985). 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* presentó diferencia significativa (Figura 6D), 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 presentó diferencia significativa (Figura 6B), la 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).

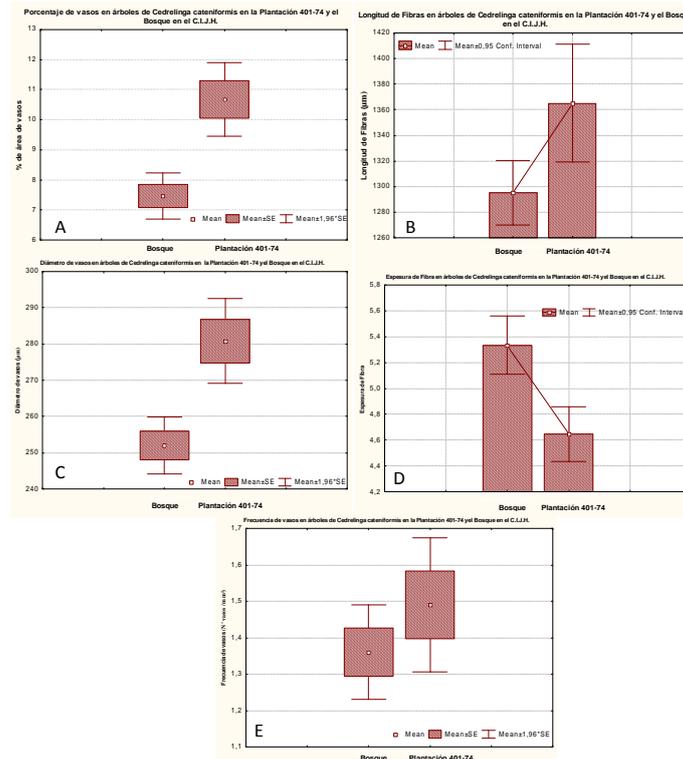


Figura 6 Dimensiones de los elementos del leño (medula, medula-corteza, corteza) de *C. cateniformis* en el bosque y la plantación 401-74 del C.I.J.H. (A) porcentaje de vasos; (B) longitud de las fibras; (C) diámetro de vasos; (D) espesura de la pared de las fibras; (E) frecuencia de vasos.

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 6C). 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 6A), 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; 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; Bass 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 m³ha⁻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 2x2 m, a campo abierto proyecta

el crecimiento en plantaciones de esta especie obteniendo a los 30 años un volumen de 872 m³ha⁻¹, además sostiene que entre los 30 y 40 años producirán más de 800 m³ha⁻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.

IV 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.
- La densitometría de rayos x posibilito 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.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue posible, gracias al apoyo del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – Programa de Ecosistemas Terrestres, al Laboratorio de Anatomía, Identificación de Maderas y Densitometría de rayos X de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidad de São Paulo en Brasil y la Universidad Nacional Agraria la Molina de Lima por lo que los autores agradecemos su valioso apoyo.

V BIBLIOGRAFIA

- ABADIE, G.** 1976. Caracterización del tipo de bosque de terraza en la zona de Jenaro Herrera (Iquitos). Tesis Ing. forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 70 p.
- AKACHUKU, E.** 1985. The effects of some extrinsic and intrinsic factors on the proportion of vessels in *Gmelina arborea* Roxb. *Wood Science Technology*. 19(1): 5-12.
- AKACHUKU, E.; BURLEY, J.** 1979. Variation of anatomy of *Gmelina arborea* Roxb. in Nigerian plantations. *IAWA Bulletin*. 4: 94-99.
- AMARAL, B.; TOMAZELLO, M.** 1997. Avaliação das características dos anéis decrescimento 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*. 11/12(6): 17-23.
- AREND, M.; FROMM, J.** 2003. Ultrastructural changes in cambial cell derivatives during xylem differentiation in poplar. *Plant Biology*. 5(3): 255-264.
- BAAS, P.; WERKER, E.; FAHAN, A.** 1983. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Journal*. 4(2/3): 141-160.
- BISSING, 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*. 109(3): 371-384.
- BOTOSO, 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.
- BRIENEN, R.; ZUIDEMA, P.** 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rainforests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia, cidade*. 146: 1-12.
- CARLQUIST, S.** 1984. Vessel grouping in dicotyledon woods: significance and relationship to imperforate tracheary elements. *Aliso*. 10: 505-525.
- 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.
- COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L.** 1989. Methods of dendrochronology: application on the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic. 394 p.
- 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.
- FRITTS, H.** 1976. *Tree Rings and Climate*. New York. Academic Press. London. 567 p.
- 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. 1: 25-26.
- 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.
- HUGHES, J.; ESAN, D.** 1969. Variation in some structural features and properties of *Gmelina arborea*. *Tropical Science*. 11(1): 23-37.
- IAWA Committee.** 1989. IAWA List of microscopic feature for hardwood identification. *IAWA Bulletin, Leiden*. 10(3): 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
- 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
- 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. 27(1): 80-85.
- LISI, S.; TOMAZELLO, M.; BOTOSSO, C. ; ROIG, A.; MARIA, R.; FERREIRA-FEDELE, L.; VOIGT, 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 Amazonia. Forest Ecology and Management 33/34(1-4):157-168.
- MARMILLOD, D.** 1982. Methodik und Ergebnisse von Untersuchungen fiber Zusammensetzung und Aufbau eines Terrassenwaldes im peruanischen Amazonien. Tesis Dr. forestal. Gottingen, Alemania, Georg August Universitat. 198 p.
- 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 Forestiers Sciences. 55(3): 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): 179-193.
- 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. 10(3): 342-343.
- PEARSON, R.; BROWN, H.** 1932. Commercial timber of India. New Delhi: Government of India Central Publication Branch, 1932. 600 p.
- POLGE, H.** 1978. Fifteen years of wood radiation densitometry. Wood Science and Technology, Berlin. 12: 187-196.
- RICHTER, H.; DALLWITZ, J.** 2001. ‘Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version: 4th.
- ROBERTS, K.; MC CANN, M.** 2000. Xylogenesis: the birth of a corpse. Current Opinion in Plant Biology. 3: 517-522.
- 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.
- 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.
- SCHWEINGRUBER, F.** 1988. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: D. Reidel. 276 p.
- TOMAZELLO, 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.
- VETTER, R.; BOTOSSO, P.** 1989. Remarks on age and growth rate periodicity of Amazonian trees. *IAWA Journal*, Leiden. 10(2): 133-145.
- 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*. 12(2): 90-96.
- VITAL, B.** 1984. Métodos de determinação da densidade da madeira Viçosa: SIF. 21p. (Boletim Técnico, 1)
- WALKER, N.; DOBB, R.** 1988. Calculation of wood density variation from x-ray densitometer data. *Wood and Fiber Science*. 20(1): 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*. 32(3): 477-486.
- YÉPEZ, F.** 2007. Plan General de Manejo Forestal de las Plantaciones Forestales en el Centro de Investigaciones Jenaro Herrera. Informe Técnico.
- ZIMMERMANN, M.** 1974. Xylem structure and the ascent of sap. New York: Springer-Verlag. 153 p.
- ZOBEL, B.** 1984. The changing quality of the world wood supply. *Wood Science and Technology*. 18(1): 1-18.
- ZOBEL, B.; VAN BUIJTENEN, B.** 1988. Wood variation: its causes and control. New York: Springer Verlag. 363 p.