

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS
FORESTALES**



**“LA EDAD DE LOS ÁRBOLES DE *Prosopis limensis* Benth EN EL
SANTUARIO HISTÓRICO BOSQUE DE POMAC-LAMBAYEQUE.”**

Presentada por:

JULIA INÉS LAZO CLEMENTE

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS FORESTALES**

Lima - Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS
FORESTALES**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

**“LA EDAD DE LOS ÁRBOLES DE *Prosopis limensis* Benth EN EL
SANTUARIO HISTÓRICO BOSQUE DE POMAC-LAMBAYEQUE.”**

Presentada por:

JULIA INÉS LAZO CLEMENTE

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph. D. Manuel Canto Sáenz

PRESIDENTE

Dra. María Isabel Manta Nolasco

PATROCINADORA

Mg. Sc. Manuel Chavesta Custodio

MIEMBRO

Mg. Bot. Mercedes Flores Pimentel

MIEMBRO

DEDICATORIA

Dar gracias a Dios Todopoderoso por iluminar mi camino de vida y conducirme a la felicidad, prosperidad y sobre todo al amor; a mi madre Eusebia, a mi padre Jacinto, a mis hermanos Zonia y Lucio quienes me guiaron por el camino de la superación, hoy que no estan a mi lado, ocupan un lugar especial .

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi inmensa gratitud y reconocimiento:

Al Arqueólogo Vicente Cortéz Billet ex-Jefe del Santuario Histórico Bosque de Pómac del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas-SERNANP del Ministerio del Ambiente.

A la Escuela de Posgrado-EPG de la Universidad Nacional Agraria la Molina-UNALM, por todos los conocimientos impartidos en la Especialidad de Bosques y Gestión de Recursos Forestales-EBGRF.

De manera especial agradecer a Ph. D. María Isabel Manta Nolasco asesora del presente trabajo de investigación, gran profesional representante de la mujer peruana, y mi ex-asesor, Ph. D. Percy Amílcar Zevallos Pollito, así como al Ph. D. Mario Tomazello Filho por su amistad, y oportunos consejos para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los profesores Ph. D. Manuel Canto Sáenz, Mg. Sc. Manuel Chavesta Custodio y Mg. Bot. Mercedes Flores Pimentel por los valiosos consejos, contribuciones y sugerencias proporcionadas para la mejora del presente estudio.

A todos los profesores de la EBGRF, un profundo respeto y agradecimiento por contribuir al fortalecimiento de mis capacidades en el área de ciencias Forestal y Ambiente.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, por brindarme la información meteorológica para el análisis de las variables climatológicas y dendrocronométrica del presente trabajo.

A la Universidad de Facultad de Ciencias Forestal y Ambiental, de la Universidad Nacional de Ucayali-UNU, y a la Escuela Superior de Agricultura Luis de Queiros, de la Universidad de Sao Paulo-Brasil por el uso de su laboratorio de anatomía e identificación de maderas y otras infraestructuras afines.

Al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado-SERNANP por haberme permitido y facilitarme la recolección de las muestras leñosas para el presente estudio y facilitar copias de fotografías de sus archivos digitales.

A todos mis compañeros de promoción de la EBGRF, y en especial a Jorge Efraín Paucar

Anchirayco, José Melanio Díaz Dávila, Hatzel Milagros Ortiz Bonett, Rosa María Hermoza Espezúa, Santos Raphael Paucar Cárdenas, por la amistad y colaboración compartida durante los años de estudio.

Mi agradecimiento al personal administrativo de la EBGRF, sobre todo a quien en vida fue William Solano García, gran amigo de todos los alumnos y docentes, llegó a ser un gran ingeniero, de calidad, con grandes conocimientos y voluntad de ayuda, él apuntaló para que la EBGRF, sea una de las mejores de la EPG-UNALM, así como a Ylida Pauca Ventura, Teresa Velarde y Eder Ramos, que realmente son la imagen de la EPG.

Mi agradecimiento al Ph.D. Mario Tomazello Filho, profesor de la Universidad de São Paulo-Brasil; a la Mg. Sc. María Angélica Flores Romayna, de la Universidad Nacional de Ucayali-Perú, por su apoyo incondicional para la conclusión del presente trabajo de investigación y sus aportes en el trabajo de laboratorio y redacción final de la tesis.

Mi agradecimiento al personal del SERNANP, al Mg. A. Antonio Gamonal Medina ex - Jefe del Santuario Histórico Bosque de Pómac, al Mg. Sc. Mario Tafur, a Carlos Llauce B, Julio Benites, William Zeña S., Marcos Vásquez A., Crisóstomo Castro T., Agustín Benites B., Bartolomé Jiménez M., y a todas aquellas personas que con su invaluable apoyo, hicieron posible la ejecución del presente trabajo de investigación.

A mis hermanos Víctor, Jorge, Esther; a mis sobrinos, Alondra, Rodrigo, Jesús, Melina, Leonardo por darme alegría y a toda mi familia por el apoyo incondicional brindado durante la ejecución de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	5
2.1. Información general del Santuario Histórico Bosque de Pómac.....	5
2.1.1. Fisiografía.....	6
2.1.2. Clima.....	6
2.1.3. Suelos.....	6
2.1.4. Ecología vegetal y distribución geográfica de los Bosques Estacionalmente Secos (BTES).....	7
2.1.5. Los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos-BTES.....	9
2.2. Características generales de la especie <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	11
2.2.1. Descripción de la especie <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	13
2.2.2. Distribución, ecología y suelos donde crece la especie.....	16
2.2.3. Fenología, propagación y crecimiento.....	17
2.2.4. Importancia de la especie.....	19
2.3. Dendrocronología.....	21
2.3.1. Principios de la Dendrocronología.....	22
2.3.2. Dendrocronología y sus aplicaciones.....	25
2.4. Dendrocronología en bosques estacionalmente secos.....	27
2.5. La dendrocronología y el crecimiento de los árboles: importancia en el manejo forestal.....	28
2.6. Crecimiento y rendimiento.....	30
- Incremento Corriente Anual-ICA.....	32
- Incremento Medio Anual-MA.....	32
2.6.1. Fases del Crecimiento.....	33
2.7. Modelos de crecimiento.....	34
2.8. Ciclo de crecimiento.....	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1. Ubicación de la zona de estudio.....	39
3.1.1. Ubicación de la parcela de muestreo.....	40
3.1.2. Inventario forestal en las parcelas de muestreo.....	41

3.1.3. Selección de árboles.....	41
3.1.4. Obtención de discos de madera (cuerpos de prueba).....	43
3.1.5. Preparación, acondicionamiento y transporte de los discos.....	44
3.2. Determinación y análisis de la formación de los anillos de crecimiento del <i>Prosopis limensis</i> Benth., Dendrocronología.....	45
3.2.1. Preparación de las muestras del leño para caracterizar los anillos de crecimiento.....	45
3.2.2. Delimitación y medición del ancho de los anillos de crecimiento.....	45
3.2.3. Sincronización de los anillos de crecimiento en los árboles de <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	46
3.2.4. Elaboración de la serie maestra y cronología en los anillos del crecimiento del <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	48
3.3. Caracterización macroscópica y microscópica del leño de los árboles de <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	50
3.3.1. Descripción macroscópica.....	50
3.3.2. Descripción microscópica.....	51
3.4. Crecimiento en diámetro del fuste de los árboles de <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	54
3.4.1. Modelos de crecimiento.....	55
3.4.2. Determinación de incrementos.....	57
3.4.3. Determinación de la edad técnica y edad mínima de corte.....	58
3.5. Respuesta del crecimiento de los árboles de <i>Prosopis limensis</i> Benth., debido al clima.....	58
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1. Caracterización y definición de los anillos de crecimiento de <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	60
4.2. Anualidad en la formación de los anillos de crecimiento en <i>Prosopis limensis</i> Benth., para determinar la edad de los árboles en el Santuario Histórico Bosque de Pómac.....	63

4.3. Crecimiento diamétrico de <i>Prosopis limensis</i> Benth., en función del análisis Dendrocronológico	66
4.3.1. Selección del modelo óptimo de crecimiento para <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	68
4.3.2. Estimación de los parámetros del modelo matemático	68
4.3.3. Análisis de varianza en la selección del modelo	69
4.3.4. Edad mínima de corte-EMC, considerando diámetro mínimo de corte.....	72
4.4. Estructura anatómica de la madera de <i>Prosopis Limensis</i> Benth	75
4.5. Análisis De La Correlación Del Crecimiento Y Variables Climáticas	81
4.5.1. Análisis de correlación de Pearson entre las variables del crecimiento (Modelo Shumacher_2) y las variables climáticas.....	82
4.5.2. Prueba de hipótesis de las variables de crecimiento del árbol y la temperatura.....	85
4.5.3. Prueba de hipótesis de las variables de crecimiento del árbol y la precipitación.....	86
4.5.4. Análisis gráfico de correlación entre variables del crecimiento (Modelo Shumacher_2) y variables climáticas.....	88
V. CONCLUSIONES	90
VI. RECOMENDACIONES	91
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
VII. ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Localización geográfica de los árboles de donde se obtuvo los discos de muestra..	42
Tabla 2. Información de las rodajas/series seleccionadas de los árboles escogidos en el muestreo.....	44
Tabla 3. Edad de los árboles estudiados con secciones/diámetros	63
Tabla 4. Tipos de incrementos diamétricos de árboles de <i>Prosopis limensis</i> Benth., en relación de la edad	67
Tabla 5. Modelos matemáticos no lineales evaluados para predecir crecimiento en <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	68
Tabla 6. Coeficientes de variación de los parámetros en el ajuste y criterios de selección de cinco modelos no lineales en <i>Prosopis limensis</i> Benth	69
Tabla 7. Estadísticas relevantes del análisis de varianza para los tres modelos no lineales de crecimiento para <i>Prosopis limensis</i> Benth.,	70
Tabla 8. Características de la anatomía macroscópica del leño del <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	76
Tabla 9. Características de la anatomía microscópica del leño del <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	78
Tabla 10. Características de la anatomía microscópica del leño de <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	79
Tabla 11. Datos del análisis de correlación de Pearson entre variables del crecimiento estimado con el Modelo Shumacher_2 y variables climáticas.....	81
Tabla 12. Matriz de correlación de Pearson entre variables del crecimiento estimado con el Modelo Shumacher_2 y variables climáticas.....	83
Tabla 13. Formulación del sistema de hipótesis para las variables en estudio.....	83
Tabla 14. Sistema de hipótesis para las variables de crecimiento y temperatura media ambiental anual.....	84
Tabla 15. Sistema de hipótesis para las variables de crecimiento y precipitación anual...	84
Tabla 16. Prueba de hipótesis para las variables Edad del árbol y temperatura media ambiental anual.....	85

Tabla 17. Prueba de hipótesis para las variables IRAc y temperatura media ambiental anual.....	85
Tabla 18. Prueba de hipótesis para las variables Ancho y temperatura media ambiental anual.....	86
Tabla 19. Prueba de hipótesis para las variables Edad del árbol y Precipitación anual.....	86
Tabla 20. Prueba de hipótesis para las variables IRAc y Precipitación anual.....	87
Tabla 21. Prueba de hipótesis para las variables Ancho y Precipitación anual.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Mapa de presión antrópica y Zona de Amortiguamiento. (Fuente: SERNANP, 2011).....	5
Figura 2. <i>Prosopis limensis</i> Benth.: A. Hoja (1X), B. Folíolo (2,5X), C. Flor (5,2X), D. Pétalo (10X), E. Estambre (7X), F. Pistilo (7X); G. Botón floral (13X), H. Vaina (2X), I. Semilla (3,5X) (Tomado de Vásquez <i>et al.</i> 2010).....	15
Figura 3. <i>Prosopis limensis</i> Benth.: A. Árbol en plena fructificación, B. Hojas con sus foliolos e inflorescencia tipo racimo, C. “Árbol Milenario” D. Árbol con copa globosa (Fuente: SERNANP 2008 - 2010).....	16
Figura 4. <i>Prosopis limensis</i> Benth.: a. Árbol de mayor grosor que quedó después de la destrucción por los ex-invasores de Palería y Pómac I-SHBP, b. Corta ilegal c. Quema para realizar agricultura migratoria por los invasores en Palería, d. Elaboración de carbón-huayrona (Fuente: SERNANP 2008-2010).....	18
Figura 5. Principio del acoplamiento en el ecosistema forestal entre los organismos y su entorno inorgánico. Fuente: (Klaus <i>et al.</i> 2007).....	30
Figura 6. Relación entre las curvas de crecimiento acumulado, crecimiento medio y el crecimiento corriente (Fuente: Gourlay 1995)	34
Figura 7. Ubicación del Santuario Histórico Bosque de Pómac.....	39
Figura 8. Ubicación del Santuario Histórico Bosque de Pómac (Google Earth, 2017).....	40
Figura 9. Ubicación de las parcelas de los árboles seleccionados con mejores diámetros (Google Earth, 2017).....	40
Figura 10. A., B., C. y E Selección de los árboles talados con mejores diámetros Fuente: SERNANP 2013.....	42
Figura 11. Corte en rodajas o discos de los mejores árboles seleccionados. Fuente: SERNANP 2013.....	44
Figura 12. A. Evaluación del diámetro y determinación de las secciones de cada rodaja seleccionada; B. Rodajas evaluadas en el presente estudio, C. Determinación de las secciones de cada disco seleccionado para la medición del ancho de los anillos, D. Ablandamiento en baño María.....	46
Figura 13. Medición del ancho de los anillos de <i>Prosopis limensis</i> Benth., a través del <i>Software Image Tool</i> versión 3.0.....	46

Figura 14. Cofechado permite la detección y corrección de posibles errores debido a una falta de sincronía a causa de anillos faltantes, anillos falsos o simplemente errores en la medición. Otorga un año calendario a cada anillo de crecimiento.....	47
Figura 15. A. y B. Preparando material para captura de imagen del xilema; C., D. y E. preparando cubos para la caracterización microscópica, F. Evaluación del color de la madera, con el Sistema de Notación Munsell, usado en suelos, también permite determinar el color del xilema.....	52
Figura 16. A. y B. Observación con lupa de elementos xilemáticos; C. Xilema a 10 X. D. Captura de imagen del xilema en computador, con microscopio estereoscopio usando el <i>Software Image Application SUITE</i> versión 3.00; E. Vista con microscopio; F. Corte de cubos orientados por secciones; G. y H. Colocación de cubos en agua destilada para ablandamiento en baño maría I. Corte de láminas con micrótopo para caracterización microscópica; J. Deshidratación de láminas para su coloreado con safranina; K. Fijando la coloración de las láminas ya lavadas; L., M. y N. Fijando láminas coloreadas en el porta objeto usando bálsamo de Canadá y cubriendo con cubre objeto; Ñ. Secado en estufa de las láminas fijadas	53
Figura 17. Aplicación del <i>Software estadístico “R”</i> , versión 2.12.1 para el análisis estadístico de los modelos, ensayados para <i>Prosopis limensis</i> Benth.....	55
Figura 18. Definición de los anillos de crecimiento de <i>Prosopis limensis</i> Benth.: A. B. C. Corte transversal del leño mostrando los anillos de crecimiento; A. de la albura; B. de albura y duramen; C. de duramen. Las flechas indican el límite de los anillos. A1, B1, C1 (8X), A2, B2, C2 (20X) y A3, B3, C3 (35X).....	62
Figura 19. Esquema del trazado: cuatro radios o series para conocer el ancho de los anillos.....	64
Figura 20. Correlación de diámetro de los árboles seleccionados versus edad	65
Figura 21. Relación del incremento diamétrico acumulado-IDA, incremento medio anual-IMA y la edad de los árboles seleccionados (IMAx100) (Fuente: Datos de la matriz procesada de árboles evaluados Anexos 4 al 8).....	66

Figura 22. Crecimiento Radial Acumulado de las ocho muestras seleccionadas en relación a la edad alcanzada (Fuente: Datos de la matriz procesada de árboles evaluados Anexos 4 al 8).....	67
Figura 23. Curva de crecimiento de los ocho árboles de <i>Prosopis limensis</i> Benth., obtenido a partir del modelo seleccionado tipo 2 de Schumacher	71
Figura 24. Curva de determinación de la edad mínima de corte.....	73
Figura 25. Comparación entre la edad técnica de corte y la edad mínima de corte considerando el DMC fijado por la Ley Forestal del Perú.....	74
Figura 26. <i>Prosopis limensis</i> Benth.: Evaluación microscópica de vasos y fibras A., C., D y H. a 10X y E. a 40X; B. vaso a 40X.....	80
Figura 27. <i>Prosopis limensis</i> Benth.: A. Sección transversal (10X), B. Sección transversal (40X), C. Sección longitudinal tangencial (40X). D. Sección longitudinal radial (40X).....	80
Figura 28. Diagrama de matriz simétrica para las variables del sistema (Fuente: Reporte del procesamiento de datos del Anexo con el SAS® (<i>Statistical Analysis Software</i>) University Edition version 9.3).....	89

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pag
Anexo 1. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 1).....	110
Anexo 2. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 2).....	111
Anexo 3. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 3).....	114
Anexo 4. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 4).....	117
Anexo 5. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 5).....	120
Anexo 6. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 6).....	122
Anexo 7. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 7).....	124
Anexo 8. Matriz general de los árboles evaluados (árbol 8).....	126
Anexo 9. Información meteorológica de la estación de Ferreñafe región Lambayeque...	129

RESUMEN

En el Santuario Histórico Bosque de Pómac, ubicado en la cuenca baja del río La Leche, del departamento de Lambayeque, con una extensión de 5887,38 ha., se desarrolla el algarrobo *Prosopis limensis* Benth., esta es la especie dominante, de mayor importancia ecológica y forestal del bosque tropical estacionalmente seco-BTES; sin embargo, ha sido poco estudiada en términos de crecimiento y conservación. Contribuyendo a estos estudios se ha realizado esta investigación determinando la edad de los árboles a través de un análisis dendrocronológico, resultando una edad máxima de 106 años. Para determinar la edad de los individuos, se seleccionaron cinco parcelas representativas del bosque seco, donde se eligieron 10 árboles; previa evaluación de las características necesarias del tallo, se obtuvieron dos (02) rodajas, por cada individuo. Con el Software Image Tool 3.0, se contaron y midieron los anillos de crecimiento para luego realizar un análisis estadístico. Luego se seleccionó la curva de crecimiento de la especie, utilizando cinco modelos derivados de la ecuación de Schumacher (1982). El modelo elegido fue el que mejor se ajustó a los Criterios de Información de Akaike-AIC, Error Estándar Residual-EER, Coeficiente de Variación-CV%. Asimismo, se aplicó el método de derivadas, para hallar la edad mínima de corte y la edad técnica de corte: 30 cm. de diámetro a 91 años y 9,23 cm. de diámetro a los 28 años, respectivamente. Se determinó la correlación entre la temperatura media anual y la precipitación total anual. Además de caracterizar macro y microscópicamente la anatomía de los troncos, observando, parénquima de tipo paratraqueal vasicéntrico, poros difusos, solitarios y múltiples radiales de 2,3-4, con inclusiones cristalinas; con radios finos y numerosos al corte transversal, no estratificado en el corte tangencial, y muy poco contrastado en el corte radial.

Palabras Claves: Edad del árbol, *Prosopis limensis*, dendrocronología, edad mínima de corte, edad técnica de corte.

ABSTRACT

At Pómac Forest Historical Sanctuary, located in the lower basin of the La Leche River in the department of Lambayeque with an extension of 5887, 38 ha, grows the carob *Prosopis limensis Benth.* This is the dominant species, of greatest ecological and forestry importance of the dry tropical forest-BTES; however, it has been little studied in terms of its growth and conservation. Contributing to these studies, this research has been carried out by determining the age of the trees through a dendrochronological analysis, resulting in a maximum age of 106 years. To determine the age of individuals, five representative plots, were selected from the dry forest, where 10 trees were chosen; a disc of each specimen was cut, but two were discarded because they did not meet the necessary characteristics. With the Image Tool software 3.0, Alpha 3 version, the growth rings were counted and measured to then perform a statistical analysis. Then the growth curve of the species was selected, using five models derived from the Schumacher equation (1982). The chosen model was the one that best met the of Akaike Information Criterion-AIC, Residual Standard Error-EER, Coefficient of Variation-CV% Likewise, the derivative method was applied, to find the minimum cut age and the technical cut age: 30 cm diameter at 91 years and 9,23 cm diameter at 28 years, respectively. Also, the correlation between the average annual temperature and the total annual precipitation was determined. In addition to characterizing the anatomy of the logs, in which it was observed, parenchyma of vasicentric paratracheal type, diffuse pores, solitary and radial multiple of 2,3-4, with crystalline inclusions; with thin and numerous radii to the transversal cut, not stratified in the tangential cut, and very little contrasted in the radial cut.

Keywords: Tree age, *Prosopis limensis*, dendrochronology, minimum age of cut, age cutting technique.

I. INTRODUCCIÓN

El “algarrobo” *Prosopis limensis* Benth., pertenece al género *Prosopis* de la familia Fabaceae (subfamilia: Mimosoideae). «El nombre “*Prosopis*” fue seleccionado por Linnaeus para describir *Prosopis spicigera* en la India en 1767» (Álvarez y Villagra, 2009). Las especies de este género se encuentran ampliamente distribuidas en regiones áridas y semiáridas de las Américas, África y Asia Occidental (Burkart, 1976). Las especies de este género poseen un tejido leñoso complejo en el cual, la determinación de sus anillos de crecimiento es complejo (Castro, 1994; Villalba y Boninsegna, 1989).

La especie *Prosopis limensis* Benth., se clasificó en base al estudio realizado sobre Algarrobo a nivel del Perú por el Dr. Leopoldo Vásquez, Botánico de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo-Lambayeque, además en base a la publicación de Tropicos.org.Missouri Botanical Garden, que lo presenta en www.tropicos.org/Name/13032107, y JSTOR-Global Plants.

Estudiar la dinámica forestal de los bosques secos no es una tarea fácil, por la intensa intervención del hombre sobre el recurso forestal, pero siendo el Santuario Histórico Bosque de Pómac-SHBP un área de especial interés, con formaciones boscosas influidas por gradientes ambientales, climáticos: temperatura, y precipitación, factores limitantes, que permiten que las especies se desarrollen en cierta medida al límite de su capacidad de adaptación. Por este motivo, estos bosques son potencialmente muy sensibles a sufrir modificaciones estructurales en crecimiento, balances de mortalidad, establecimiento, densidad y formas de incremento, entre otras, forzadas por variaciones ambientales y de intervención del hombre (Espinosa *et al.*, 2012).

El Santuario Histórico Bosque de Pómac fue establecido el 01 de junio de 2001, por Decreto Supremo N° 034-2001-AG, donde se desarrolló este trabajo de investigación, que representa el 0,03 por ciento del total de Área Natural Protegida en el Perú, y que en la actualidad contribuye con el logro de los objetivos del Sistema Nacional de Áreas

Naturales protegidas por el Estado-SINANPE, de conservar el área más representativa de la eco región de Bosque Seco Ecuatorial Estacional-“BSEE”, cuya formación típica es la de algarrobal, en el que habitan 16 especies de aves endémicas de la Región Tumbesina (PROFONANPE, 2009).

Prosopis limensis Benth., puede regenerarse a través de semillas en forma natural, con tratamiento pre-germinativo, (Jugo gástrico de ganado caprino, del zorro, escarificación manual con vidrio partido, etc.); también se regenera a través de los propágulos sin necesidad de extraer las semillas, sólo que, para la germinación requiere de mayor cantidad de agua y permanencia de humedad por lo menos de 15 días consecutivos. No obstante, la regeneración natural está expuesta a condiciones adversas como: sequía prolongada, vientos helados, ramoneo por animales domésticos; sobrevive a pesar de ello, con las lluvias de verano, periodo en que se llena de hojas. Su desarrollo y crecimiento es favorecido por el evento llamado “El Niño-Southern Oscillation” ENSO. Es una especie que se asocia con especies arbóreas como: “sapote” *Capparis scabrida* H.B.K., “faique” *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd., “angolo” *Pithecellobium multiflorum* (Kunth) Benth; especies arbustivas como: “vichayo” *Capparis ovalifolia* Kunth, “cuncuno” *Vallesia glabra* (Cav.) Link, “canutillo” *Grabowskia boerhaaviaefolia* (L. f.) Schldl., “palo verde” *Parkinsonia aculeata* L, y diversas herbáceas que se presentan sólo en época de lluvias: “tomate silvestre” *Lycopersicon peruvianum* L, “caigua silvestre” *Momordica charantia* L, “yuca de monte” *Apodanthera biflora* Cogn, entre otras.

Los beneficiarios de los algarrobales del Santuario Histórico Bosque de Pómac, son los pobladores que habitan en la Zona de Amortiguamiento en 13 caseríos: Ojo de Toro, Pómac III, Huaca Rivera, La Curva, Huaca Partida, La Zaranda, Culpon Alto, Santa Rosa De Las Salinas, Sapame, El Verde, Santa Clara, Matriz Comunidad, Cerro Escute, que representa un total de 10,598 pobladores, que se benefician del autoconsumo de frutos y leña de “algarrobo” y frutos de “sapote” (SERNANP, 2011).

En la actualidad, existe presión antrópica por tala ilegal, los ex-invasores están siempre con la intención de retornar a las zonas de Palería y Pómac I, sectores del Santuario Histórico Bosque de Pómac, no se puede descuidar estos sectores, donde ya se han perdido 1706,47 ha. de bosques, degradando este ecosistema altamente frágil, que soporta sequías prolongadas e intensas. Los demás sectores, Pómac II, La Merced, y Las Salinas, están

sometidas a la ganadería extensiva, que repercute negativamente, disminuyendo la tasa de reclutamiento del algarrobal en el Santuario, afectando a toda la región, los mismos corresponden a relictos de los bosques de *Prosopis limensis* Benth., que queda en el Santuario Histórico Bosque de Pómac.

El conocimiento sobre la edad del árbol a través de las características dendrocronológicas a partir de los anillos de crecimiento de los troncos de *Prosopis limensis* Benth., del Santuario Histórico Bosque de Pómac, podría permitir determinar el tiempo que demora en crecer esta especie para llegar a la madurez fisiológica, así como las técnicas de manejo y recuperación del algarrobal, frente al tiempo, de sólo 45 minutos, que tardan los taladores fortuitos para derribar un árbol y convertirlo en leña o construir una “huairona” (Horno) para transformarlo en carbón. Posteriormente esos productos son comercializados a intermediarios para abastecer la creciente demanda de leña o carbón de las ciudades de Chiclayo, Lambayeque y Lima, a costos irrisorios. De la misma forma, debemos resaltar que los lugareños, defienden uno de los *Prosopis*, considerado el más viejo, según ellos, llamado “Árbol Milenario” el que representa una de las principales atracciones turísticas del Área Protegida. Dicho árbol, se mantiene desde la época de apogeo del carbón (1940), en esa década era posible obtener, permisos para talar y carbonizar, en las oficinas del Servicio Forestal y de Caza del Ministerio de Agricultura (PROFONANPE, 2009).

En el presente estudio se utilizaron métodos dendrocronológicos, para datar los anillos anuales de crecimiento de los individuos de *Prosopis limensis* Benth., y conocer la edad promedio de los árboles. A través de dichos anillos de crecimiento, analizar la tasa de crecimiento anual y su capacidad de regeneración (Villagra *et al.*, 2002).

Los resultados permitirán conocer la edad, el crecimiento de la especie de mayor importancia ecológica del Santuario Histórico Bosque de Pómac-SHBP, plantear estrategias de aprovechamiento, manejo y recuperación del “algarrobal” compuesto principalmente por árboles de *Prosopis limensis* Benth., que deben aplicar los pobladores de la zona de amortiguamiento, de donde generalmente proceden los taladores ilegales, además será una herramienta muy útil en los estudios de manejo forestal y conservación. Asimismo los resultados obtenidos servirán de base para conocer mejor la dinámica de los bosques de Pómac.

Objetivo general

Determinar la edad de los árboles de *P. limensis* Benth., del Santuario Histórico Bosque de Pómac, a través de los anillos de crecimiento.

Objetivos específicos

1. Determinar si la formación de los anillos de crecimiento en los árboles de *P. limensis* Benth., son anuales y caracterizarlo.
2. Caracterizar la estructura anatómica macro y microscópica del leño o madera del *P. limensis* Benth.
3. Comprobar la correlación entre el ancho de los anillos de los árboles *P. limensis* Benth., con los parámetros climatológicos: precipitación y temperatura, registrados en la estación meteorológica más cercana a la Zona de Amortiguamiento del Santuario.
4. Determinación de la edad técnica de corta y las implicancias en la recuperación del SHBP.

Existe alta presión antrópica hacia los bosques secos del Santuario Histórico Bosque de Pómac, por tala ilegal, ganadería extensiva, invasiones (sectores Palería y Pómac I período 2002-2009), hubo una pérdida de 1706,47 ha., de bosque con predominancia de *Prosopis limen* Benth., consecuentemente se deriva procesos de degradación de la vegetación en su conjunto, degradación de los suelos y pérdida de la fauna silvestre propia del ecosistema que pertenece a los llamados Bosques Tropicales Estacionalmente Secos-BTES. Este bosque es parte de la identidad cultural de la población lambayecana, por la flora y fauna propia, donde se desarrolló la cultura Sicán, manteniéndose la etnia y la herencia cultural de matriz Muchik, que significa una vivencia en armonía con la naturaleza (Marcelo *et al.*, 2010; SERNANP, 2011).

2.1.1 Fisiografía

La fisiografía del Santuario Histórico Bosque de Pómac, es principalmente plana ondulada, con una pendiente aproximada de ocho por ciento. Es frecuente encontrar pequeñas elevaciones las que corresponden a las “huacas” de la cultura Sicán. Existen en la parte sur-este, estribaciones de los cerros Las Salinas, Gigante y El Mauro, que llegan hasta 300 m.s.n.m. (SERNANP, 2011).

2.1.2 Clima

El Santuario se caracteriza por tener clima seco-cálido, la mayor parte del año; las lluvias son esporádicas y solamente abundantes, durante la Oscilación Sureña del Niño-ENSO, en su fase caliente, comúnmente conocido como Fenómeno de El Niño. La temporada más cálida es de diciembre a mayo. Las máximas temperaturas se registran en los meses de febrero y marzo con 33,1 ° C en promedio, pudiendo llegar a 34,4 ° C como máximo. La temperatura mínima se registra entre los meses de julio y agosto con 11,5 ° C en promedio. Las escasas lluvias se concentran, entre los meses de marzo y abril que, en conjunto suman el 66 por ciento de la precipitación anual, como corresponde a una de las regiones más áridas del planeta; la precipitación anual total es de 107,8 mm. (SERNANP, 2011).

2.1.3 Suelos.

Suelos profundos, con textura media a pesada, son francos y areno limosos con materiales cálcicos o de yeso perteneciente a yermosoles o xerosoles existen también fluviosoles en las

tierras influenciadas por el río La Leche hacia los cerros Las Salinas, Gigante y El Mauro. (SERNANP, 2011).

2.1.4 Ecología vegetal y distribución geográfica de los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos-BTES

Diversos estudios han permitido establecer que los BTES aparecieron durante las etapas glaciales más frías y secas conformaron un bioma más extendido de lo que se observa en la actualidad en el Neotrópico, de manera que la distribución actual de los BTES corresponde tan sólo al remanente que fue éste extenso bioma (Prado y Gibbs 1993; Pennington *et al.*, 2000). Hoy en día los BTES aparecen de forma discontinua, en áreas de diferentes tamaños y con diferentes niveles de aislamiento, extendiéndose desde el noroeste de México hasta el norte de Argentina y sureste de Brasil (Dirzo *et al.*, 2011). Aunque los BTES son bosques florísticamente más ricos que los bosques de latitudes templadas, se comenta que son mucho más pobres que los bosques tropicales húmedos (Mayle, 2004). La mayor parte de familias de las plantas de los BTES aparecen bien representadas en el bosque tropical lluvioso, aunque tres familias son únicas de los BTES neotropicales: *Zygophyllaceae*, *Canellaceae* y *Julianaceae*; y tres familias están mejor representadas en los BTES que en el bosque tropical lluvioso: *Capparidaceae*, *Cactaceae* y *Erythroxylaceae* (Mayle, 2004). La familia dominante en la mayoría de los bosques estudiados en regiones muy diferentes es *Fabaceae*, representada por un gran número de géneros y especies, y siempre con abundancias muy elevadas a nivel local (Linares-Palomino, 2005; Álvarez y Villagra 2005; Pérez-García *et al.*, 2010; Linares-Palomino *et al.* 2010; Meira-Arruda *et al.*, 2011). Los BTES tienen mayor abundancia de especies espinosas (Pennington *et al.*, 2000) las epífitas son significativamente menor en la mayoría de los bosques secos, (por ejemplo 10 epífitas por 0,1 ha en Capeira-Ecuador), mientras que, en un Bosque Húmedo Tropical la cantidad de epífitas es mayor (por ejemplo 4517 epífitas por 0,1 ha en la reserva privada Río Palenque-Ecuador), (Gentry, 1995; Mayle, 2004). En términos generales el área basal y la altura de estos árboles es menor que los bosques húmedos tropicales (Murphy y Lugo, 1986). Esto sin duda, es consecuencia y es probable que tenga una menor producción primaria neta, asociada al mayor estrés hídrico al que se ven sometidas estas comunidades vegetales. Lógicamente, la actividad biológica está fuertemente restringida por la disponibilidad de agua, es por eso que en época lluviosa es cuando se manifiesta toda su potencialidad productiva, mientras que durante la época seca el bosque se mantiene bajo mínimos de productividad primaria (Murphy y Lugo, 1995; Pennington *et al.*, 2000; Mayle, 2004). Otro atributo muy característico de estos bosques es que, durante la época

seca produce una importante acumulación de hojarasca en el suelo que permanece sobre el suelo hasta la llegada de la época de lluvias, permitiendo su descomposición y mineralización las nuevas condiciones (Pennington *et al.*, 2000). Aunque existen diferentes propuestas de clasificación de los ecosistemas secos en la región aceptamos que la más amplia y probablemente la más integradora, aunque no extensa de discrepancias, es la propuesta por (Pennington *et al.*, 2000) que, a grandes rasgos, sugiere una clasificación en tres grandes grupos: (a) Bosque seco con dosel continuo, que es lo que otros autores consideran BTES genuinos; (b) Sabanas, y (c) El chaco, con estrato arbustivo discontinuo, principalmente dominado por especies espinosas mimosoideas y un estrato herbáceo generalmente escaso. Se ha sugerido que las diferencias entre estos ecosistemas están relacionadas con el grado de fertilidad del suelo y su pH, en el caso de los dos primeros, y de las condiciones climáticas en el caso del Chaco. El bosque seco *sensu stricto* requiere suelos más ricos y fértiles, mientras que las sabanas están restringidas a suelos ácidos con baja disponibilidad de calcio y magnesio y, generalmente, alta concentración de aluminio (Furley y Ratter 1988). Las sabanas normalmente se presentan en hábitats con suelos poco profundos donde el fuego es un factor de perturbación frecuente (Pérez-García *et al.*, 2010; Pausas y Bradstock, 2007). Por otro lado, los BTES ligados al Chaco aparecen a mayores latitudes. La vegetación de estos ecosistemas se encuentra sometida a una baja humedad del suelo, e incluso a congelación, en la estación seca, la cual coincide siempre con el invierno, mientras que en la estación húmeda sufre anegamiento y temperaturas que llegan hasta los 49°C (Pennington *et al.*, 2004; López *et al.*, 2006). Pennington *et al.*, (2000) afinan algo más esta clasificación inicial y plantean una subdivisión geográfica de estos sistemas. El bosque seco original estaría representado por nueve núcleos biogeográficos distintos: (1) La catinga brasileña, (2) Misiones en Paraguay y Brasil y, (3) Piedemonte andino desde Argentina hasta el norte de los BTES Bolivianos, (4) Valles interandinos del norte de Perú, Bolivia y Ecuador; (5) Costa del Pacífico de Ecuador y Perú, (6) Valles interandinos de Colombia y Venezuela, (7) Costa del Caribe de Colombia y Venezuela, (8) México y América Central, (9) Islas del Caribe. Por otro lado las sabanas se encontrarían representadas por dos núcleos: (10) El Cerrado brasileño y; (11) Los llanos venezolanos y por último, (12) El Chaco mantiene un sólo gran núcleo ubicado entre Argentina, Paraguay y Bolivia. Según Linares-Palomino *et al.*, (2011) los núcleos de los ecosistemas secos tropicales conforman cuatro grandes grupos con base en su afinidad florística. El primer grupo Mesoamérica y el Caribe lo conforman los núcleos de la costa del Caribe de Colombia y Venezuela, los Llanos venezolanos, México y América Central que han mostrado ser una unidad biogeográfica consistente en otros trabajos (Gentry, 1982; Linares-

Palomino *et al.*, 2011). Este grupo está caracterizado por la alta diversidad de sus núcleos, además de poseer los porcentajes más altos de endemismo (Santiago-Valentín y Olmstead, 2004). El siguiente grupo Pacífico Ecuatorial (Peralvo *et al.*, 2007) está conformado por los núcleos denominados valles interandinos de Perú y Ecuador, y costa del Pacífico de Ecuador y Perú, los valles interandinos de Bolivia quedan excluidos de este grupo. El tercer grupo en América del Sur está conformado por el Chaco. Este grupo presenta una de las zonas con mayor extensión geográfica y con una densidad relativa mayor a la de los bosques secos, debido al menor tamaño de los arbustos (Gentry, 1995). Este grupo presenta una gran diferencia florística con el resto. Finalmente el grupo Brasileño lo conforman la Caatinga; los bosques secos de Misiones, el denominado Piedemonte, incluyendo el norte de los BTES bolivianos, y el Cerrado. Estas últimas zonas son las más diversas, sin embargo el grado de endemismo de cada una de ellas es relativamente bajo, situándose entre el 14,8 y el 1,9 por ciento respectivamente (Linares-Palomino *et al.*, 2011).

2.1.5 Los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos-BTES

«El término “bosques tropicales estacionalmente secos-BTES” fue acuñado por Murphy y Lugo (1995)». Los BTES comprenden bosques caducifolios y semicaducifolios que crecen en áreas tropicales sujetas a una severa estacionalidad lluviosa. Estos bosques reciben alrededor de 80 por ciento de la precipitación durante cuatro meses, a lo largo de los cuales la precipitación media anual puede sobrepasar con creces 200 mm/mes (Maass y Burgos, 2011). En el otro extremo, el periodo de sequía se prolonga entre 5-6 meses al año. Durante este periodo la precipitación raramente supera 10 mm/mes (Maass y Burgos, 2011) creando un déficit hídrico (Gotsch *et al.*, 2010), Lima y Rodal, 2010) que determina una de las características más conspicuas de los BTES: la fenología distintiva de la mayoría de plantas, ligada a la pérdida estacional de las hojas y del bosque en general, con una época sin hojas durante la estación seca y una fisionomía de bosque siempre verde a lo largo de la estación lluviosa. La estacionalidad de meses lluviosos versus meses secos es una constante en los BTES, sin embargo, existe una elevada variación interanual en cuanto a la cantidad y temporalidad de las lluvias ocasionadas, entre otros, por la acción de los fenómenos ENSO (El Niño Southern Oscillation) y la Oscilación Decadal del Pacífico en Mesoamérica (Best y Kessler 1995). En los BTES la densidad, la diversidad y la continuidad del dosel arbóreo se va perdiendo a medida que el periodo seco se va extendiendo hasta dar paso a lo que se conoce como drylands o tierras secas (Maestre *et al.*, 2011). En el extremo climático opuesto el bosque estacional da paso a selvas siempre verde cuando la disponibilidad de agua se extiende a lo

largo de periodos más largos del año (Murphy y Lugo 1995). A nivel mundial, los BTES ocupan 42 por ciento de la superficie de los bosques tropicales (Miles *et al.*, 2006). Sorprendentemente, a pesar de esta considerable extensión y del hecho de que estos ecosistemas mantengan una importante población humana, los bosques secos del Neotrópico han recibido poca atención científica en comparación con los bosques lluviosos tropicales de la región (Bullock *et al.*, 1995; Sanchez-Azofeifa *et al.*, 2005). Según Gentry (1995), el bajo interés que han despertado los BTES se debe a su baja diversidad, entre 50-70 especies de árboles con diámetros mayores de 2,5 cm por hectárea, en comparación con los bosques húmedos, que llegan a alcanzar valores entre 200-250 especies en condiciones similares. Sin embargo, esta tendencia ha cambiado durante los últimos años gracias al reconocimiento de que los BTES son uno de los ecosistemas tropicales más amenazados y menos conocidos del mundo, al tiempo que existen poblaciones humanas que dependen directamente de los servicios ecosistémicos que estos ofrecen (Janzen 1988; Dinerstein *et al.*, 1995; Balvanera 2012). Posiblemente una de las regiones de BTES menos estudiadas ha sido la región del Pacífico Ecuatorial. Los trabajos desarrollados hasta la fecha en la región, han permitido avanzar notablemente en el conocimiento florístico del estrato arbóreo. Sin embargo, existen todavía numerosas lagunas de conocimiento en relación con el funcionamiento de estos bosques a varios niveles, que van desde cuestiones de dinámica de la vegetación, a la provisión de servicios ecosistémicos.

En el caso de la región *Pacífico Ecuatorial* la diversidad de la flora de especies leñosas, alcanzan como mínimo tres metros de altura llegan a un total 65 familias con 313 especies leñosas para los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú, según un estudio desarrollado por Aguirre *et al.*, (2006). De estas, 85 especies están presentes en el denominado matorral seco espinoso, 215 en el bosque seco caducifolio y 198 en el bosque seco semicaducifolio. A nivel de país, Ecuador cuenta con 239 especies forestales, de las cuales 136 son endémicas del país, mientras que Perú cuenta con 177 especies, 74 de las cuales son endémicas. Ambos países comparten 103 especies forestales, Aguirre *et al.*, (2006). Es importante resaltar que un gran número de especies tienen una distribución restringida a menos de dos departamentos y/o provincias (Linares-Palomino *et al.*, 2010).

En la región Pacífico Ecuatorial, el 21 por ciento de las especies reportadas son endémicas, lo que supone un nivel intermedio de endemismo dentro del contexto de todos los BTES del Neotrópico (Best y Kessler, 1995; Linares-Palomino *et al.*, 2010 y 2011) Estos niveles, de

endemismo, son consecuencia del aislamiento que esta región presenta respecto a los bosques secos de Centroamérica por la zona biogeográfica de selvas húmedas del Chocó, que se constituye en una barrera para las especies de climas más secos situados al norte de Sudamérica (Best y Kessler 1995; Gentry, 1995). Además, la presencia de los Andes causa el aislamiento de la región costera trans-andina del Pacífico (Davis *et al.*, 1997; Rodríguez *et al.*, 2004). La menor diversidad observada en los BTES en relación a los bosques lluviosos vecinos es debida a los bajos niveles de diversidad dentro de las familias y géneros. Una excepción a esta norma es la familia Fabaceae, la cual muestra altos niveles de diversidad en géneros (34.19 por ciento del total).

2.2 Características generales del género *Prosopis limensis* Benth.

El género *Prosopis* comprende plantas leñosas, de origen muy antiguo; aparece en el Oligoceno, hace aproximadamente 30 millones de años, y su especiación se inicia en el Mioceno tardío, hace 12 millones de años, pertenece a la subfamilia Mimosoideae dentro de la familia Fabaceae. «El término *Prosopis* es de origen griego cuyo significado se desconoce, fue utilizado por primera vez por Carolus Linnaeus en latín; Carlos Linneo en castellano, que definió las características de este género con la especie tipo, *Prosopis spicigera* L., que aparece en su obra *Species Plantarum*, publicada en el año 1754»; actualmente el binomio de esta especie es *Prosopis cineraria* (L.) Druce; Lineo en su obra antes citada, establece universalmente el uso del sistema binomial, para denominar científicamente cualquier especie vegetal, que consiste en utilizar dos términos latinos o latinizados y nombra por primera vez 8000 especies de plantas, conservándose hasta ahora sin modificar la mayor parte de ellos (Vásquez *et al.*, 2010).

El género *Prosopis* comprende árboles de ramas largas, flexuosas, formando una copa globosa, semiesférica o deprimida, como una sombrilla; espinas mayormente axilares, geminadas y divergentes, pocas veces terminales y solitarias, derivadas de yemas axilares o de las estípulas; hojas bipinnadas, con una a tres pares de pinnas, rara vez más, persistentes o caducas; folíolos coriáceos o herbáceos; numerosos generalmente con estomas en ambas caras, más abundantes en el haz; inflorescencias axilares, pedunculadas, espigas o racimos espiciformes, cilíndricas, o también en densos capítulos, esféricos u ovoides, en ambos casos con numerosas flores pequeñas, blanco amarillentas hasta amarillo-rojizas, nectaríferas, con maduración temprana de los pistilos antes que los estambres o sea con protoginia; pedúnculo corto o ausente; cáliz acampanado pentalobulado; corola con 5 pétalos libres; estambres 10, en 2 verticilos, también

libres, anteras elípticas, dorsifijas, versátiles, conectivo prominente, con una glándula pedunculada, esférica o globosa en el extremo superior, granos de polen libres, pistilos con el ovario pedunculado y pubescente, estilo filiforme, estigma truncado, pequeño y cóncavo. Fruto, una legumbre o vaina indehisciente, alargada, recta, curva o espiralada, con el endocarpio segmentado y endurecido, mesocarpio pulposo o granuloso y epicarpio delgado, papiráceo y lustroso; semillas ovales o lenticulares, con la testa endurecida, marcada con una línea en forma de “U” en ambas caras (Vásquez et al., 2010).

El duramen o corazón central del leño es de color rojo vinoso, claro u oscuro, que abarca la mayor parte del cilindro central, rodeado de la albura blanca, formando una circunferencia de pocos centímetros de grosor, la corteza es longitudinalmente rugosa y agrietada, marrón, rojiza o negruzca.

De las especies peruanas, nueve son árboles y una arbustiva, en todas, las floraciones comienzan en noviembre y se prolonga hasta enero, presentándose la fructificación de febrero hasta abril, varias especies tiene una segunda floración con escasa formación de brotes florales, por lo general, en los meses de junio-julio y fructifican de agosto-setiembre, en cuanto al clima, las especies de la costa son más xerófilas que los valles interandinos, en donde disponen de mayor cantidad de humedad, por la presencia de lluvias en la estación de verano, desde el mes de diciembre hasta abril; su distribución altitudinal, va de 0 hasta 1000 m.s.n.m. Las poblaciones de algarrobo crecen al estado natural, pero también se cultivan en lugares cercanos a las viviendas, en bordes de chacras, acequias y caminos (Vásquez *et al.*, 2010).

Todas las especies arbóreas del género *Prosopis*, son utilizadas mayormente como madera, para la construcción de viviendas rurales, cercos, corrales, postes de alambradas y como combustible en forma de leña y carbón; como planta ornamental y de sombra; como melífera, tanto por la miel que se obtiene de sus vainas, denominada algarrobina, como por la miel producida en las colmenas de abejas silvestres o criadas. Sus vainas constituyen un forraje altamente nutritivo para todo tipo de ganado. La hojarasca que cae, se llama poña o puño, se utiliza como abono; solamente *Prosopis reptans* no tiene ningún uso antes citado, pero sus frutos se utilizan como ornamental y en medicina folclórica como artículo de buena suerte (Vásquez *et al.*, 2010).

En el Santuario Histórico Bosque de Pómac encontramos dos especies: *Prosopis limensis* Benth., y *Prosopis purpurea* L.; de las 10 especies que se tiene en el Perú (Vásquez *et al.*,

2010) *Prosopis limensis* Benth., llamado comúnmente “algarrobo” o “guarango” es un árbol de tronco más consistente, no se desgaja debido a su fibra retorcida, de crecimiento lento y su altura no pasa de 20 m. se distribuye a lo largo de la costa peruana, desde Arequipa hasta Lambayeque (Olmos), desde el nivel 0 hasta los 1000 m.s.n.m. (Vásquez *et al.*, 2010).

2.2.1 Descripción de la Especie *Prosopis limensis* Benth.

a) Descripción dendrológica: Árbol de 4-20 m. de alto, con el tronco retorcido, de 0,3-2 m. de diámetro, corteza lisa y de color verde rojiza, cuando joven y agrietada de color marrón negruzco, al envejecer; copa globosa, con las ramas erguidas o decumbentes. **Espinas** cónicas, geminadas, blanquecinas, de 1-3 cm. de largo, es común su ausencia en algunos nudos, en particular en las ramas adultas, en donde las hojas forman fascículos globosos, debido al enrollamiento de las hojas sobre su propio eje. **Hojas** solitarias o en fascículos, de hasta 10 por nudo, con 2-3 pares de pinnas, rara vez de 1-4, raquis principales de 0,5-1,5 cm., raquis secundarios de 1-4,5 cm., en ambos casos cilíndricos, acanalados y pubescentes, terminando en una estipela deltoidea, setiforme, de 1-2 mm. de largo; estípulas deltoideas, de 2-3 mm. de largo; en la intersección de las pinnas opuestas, se presenta glándulas nectaríferas cupuliformes, siendo frecuente o ausente en algunas hojas; foliolos de 2-14 pares por pinna, oblongo - elípticos, con la base asimétrica y el ápice obtuso, mucrunulado, de 1-10 mm. de largo, por 0,5-3 mm. de ancho, pocas veces de mayor tamaño, separados por espacios de 2 mm. de consistencia herbácea y ligeramente pubescentes, con las nervaduras visibles por ambas caras, cuando tiernos y al envejecer son coriáceos, glabrescentes, cubiertos de partículas de cera y sin nervaduras notorias por ambos lados. **Espigas** amarillas de 5-15 cm. de largo, por 8-14 mm. de diámetro, solitarias o formando fascículos de 2-5 por nudo. **Flores** de 6-8 mm. de largo, con un pedúnculo de 2 mm. cáliz verde, de 2,5 mm. de largo, con lóbulos deltoideos y cortos; pétalos amarillo-pálidos, linear-oblongos, agudos, de 3 mm. de largo, por 1 mm. de ancho, glabros por el envés y densamente pubescentes por el haz; estambres de 5-7 mm. de largo; filamentos blanquecinos, anteras amarillas, oblongas, con unan glándula esférica, pedunculada en el ápice del conectivo; pistilo de 6,5 mm. de largo, con el ovario fusiforme, estipitado, densamente pubescente; estilo glabro, blanco y curvo estigma truncado. **Vainas** amarillas, comprimidas, lineares, rectas o curvas, de 10-30 cm. de largo, por 1-1,4 cm. de ancho y de 0,7 cm. de espesor, bordes rectangulares u obtusos, con constricciones irregulares, caras escabrosas, acumen curvo, de 1,5 cm. de largo. **Semillas** lenticulares de color marrón pajizo, de 6 mm. de largo, por 5 mm. de ancho, con una hendidura apical, caras lustrosas, esculpidas con una línea en forma de “U” abierta (figura 2) (Vásquez *et al.*, 2010).

b). Nombres comunes: Casharo (Jamaica), Bayahonda, Mezquite o Ambrón (Santo Domingo y Puerto Rico), Algarroba o Mezquite (México), Carbón (El Salvador), Espinaruco (Honduras), Acacia de Catalina (Nicaragua), Algarrobo, Cují, Cují negro, Jaque Blanco y Jaque Negro (Venezuela), Cují, Maíz Criollo (Estado de Guárico), Teste, Algarroba (Brasil), Acacia de Catarina, Algarrobo Colorado, Algarrobo del Brasil, Aroma, Aroma Americana, Aromo, Barbasco, Barón, Bate Caixa, Bavahonda, Bayahonda, Bayahonde, Biia, Cambron, Carbón, Cashaw, Catzimec, Chachaca, Chucata, Cuida, Cuji Amarillo, Cuji Carora, Espino Ruco, Ganda Babool, Gandasein, Guatapana, Guisache, Haas, Honey locust, Huupa, Inda, Indju, Kuigi, Maje, Manca Caballo, Mareno, Nacascal, Canasol, Prosopis de Mexique, Taj, Tai, Tepemezquite, Tintitaco, Toji, Trupillo, Tahi, Upala, Visna, Wawabi, Yaga, Yaque, Yaque Blanco, Yaque negro (El Caribe), Algarrobo, Huarango (Perú).

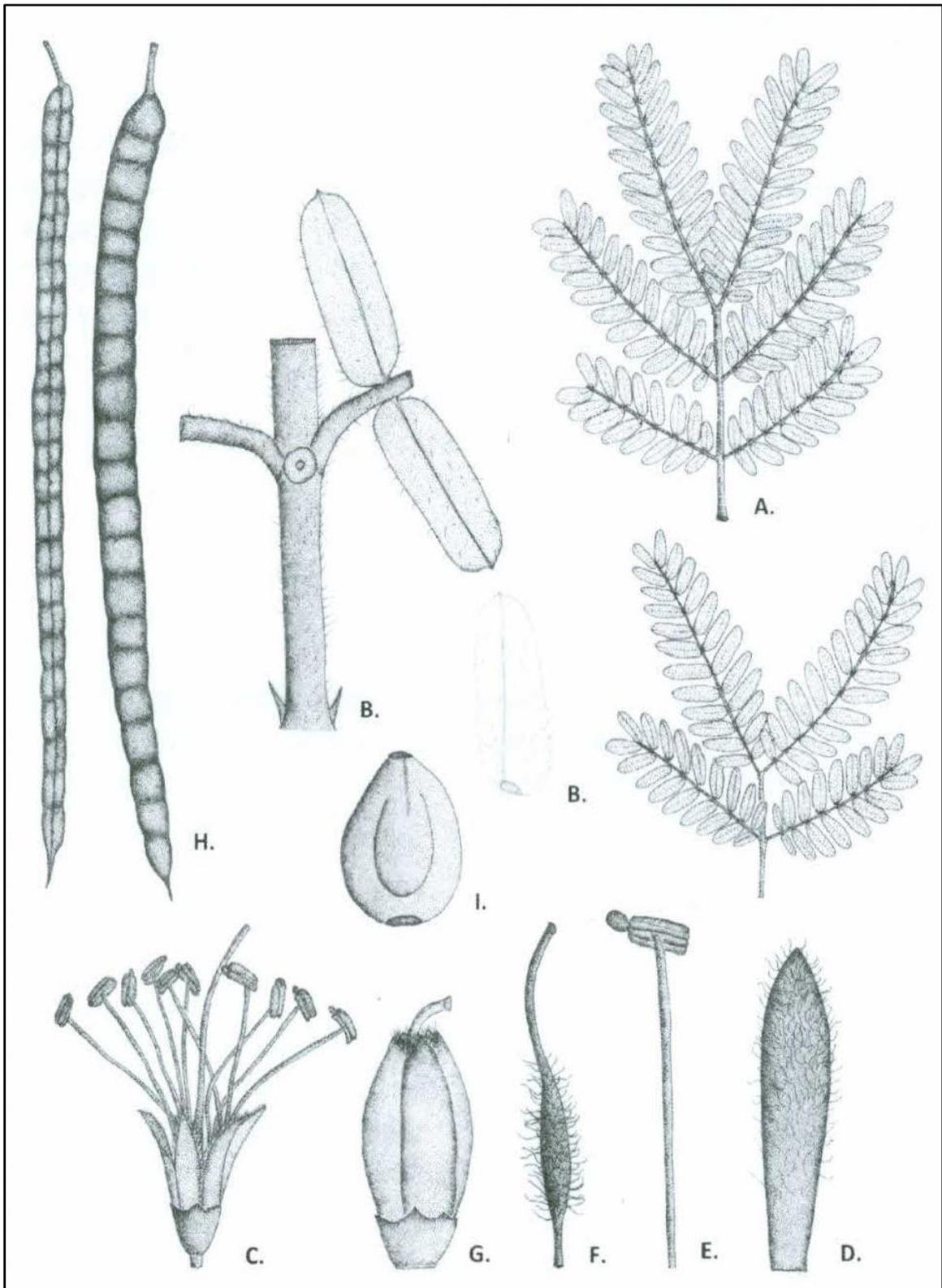


Figura 2. *Prosopis limensis* Benth.: A. Hoja (1X), B. Foliolo (2,5X), C. Flor (5,2X), D. Pétalo (10X), E. Estambre (7X), F. Pistilo (7X); G. Botón floral (13X), H. Vaina (2X), I. Semilla (3,5X) (Tomado de Vásquez *et al.*, 2010).

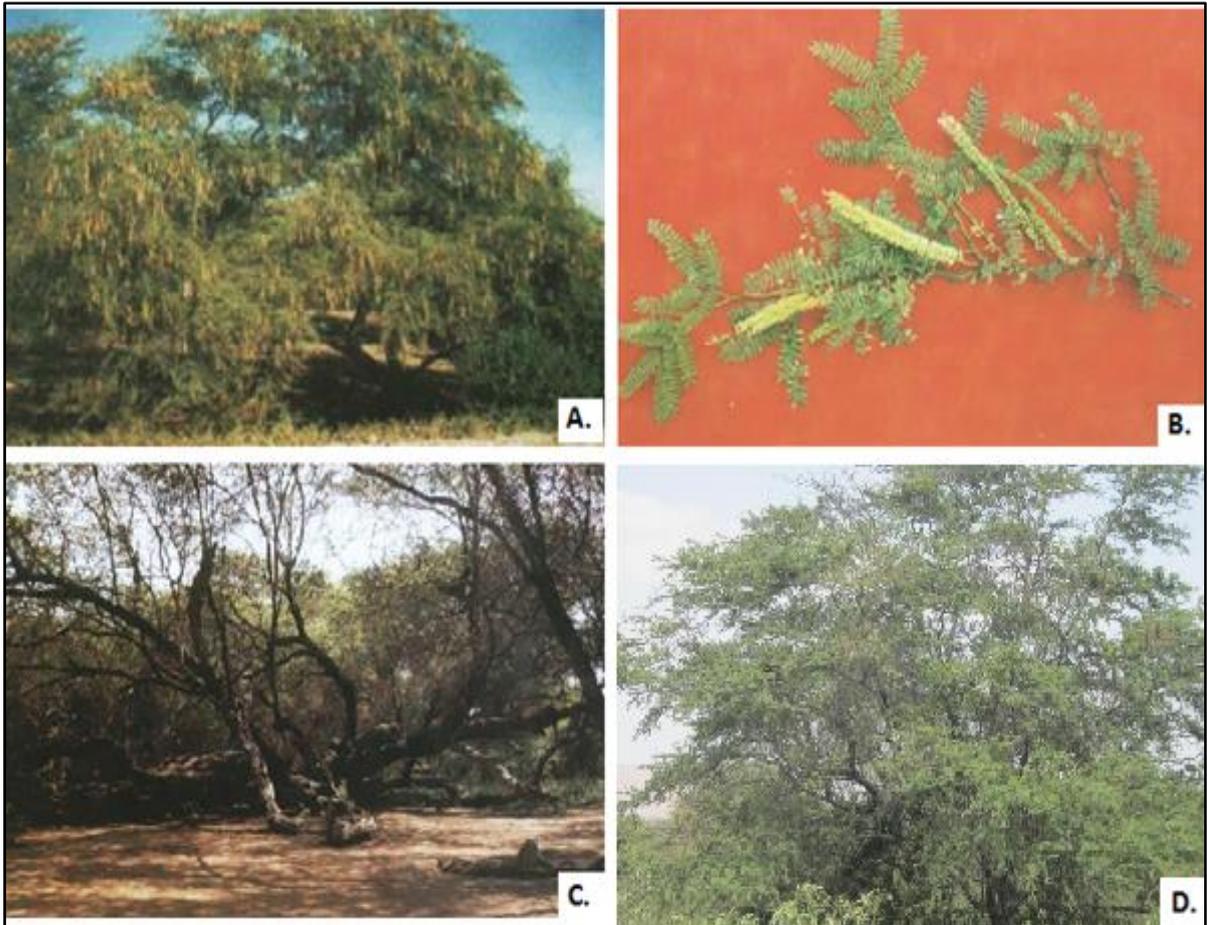


Figura 3. *Prosopis limensis* Benth.: A. Árbol en plena fructificación, B. Hojas con sus foliolos e inflorescencia tipo racimo, C. “Árbol Milenario” D. Árbol con copa globosa. (Fuente: SERNANP, 2008-2010).

2.2.2. Distribución, ecología y suelos donde crece la especie

Prosopis limensis Benth., presenta una amplia distribución a lo largo de la angosta faja costera peruana, desde el nivel del mar, hasta los 1000 m. sobre el mismo y desde Arequipa (Lomas de Atiquipa) hasta Lambayeque (Olmos), no existe en forma natural más al sur, ni en Moquegua, ni en Tacna, sólo algunas plantas sembradas, es probable que el factor limitante sea el clima más frío, hacia el norte se enrarece rápidamente, entrecruzándose con *Prosopis piurensis* apareciendo formas intermedias por hibridación, lo que no pasa con las de la localidad de Olmos, en donde ya predomina la otra especie dedicada a Piura; la limitante también se entiende que es climática, debido a la mayor temperatura y humedad, hacia el norte; es decir, *Prosopis limensis* Benth., es más xerofítico, no va más allá de la influencia del fenómeno de El Niño.

Los suelos donde prospera son moderadamente salinos, con una conductividad eléctrica de 5,66 dS/m (decisiemens por metro) y una ligera alcalinidad, con un pH de 7,21, bajo contenido de materia orgánica y Nitrógeno, 0,17 por ciento y 0,0082 por ciento respectivamente. (Vásquez, *et al.*, 2010).

2.2.3. Fenología propagación y crecimiento

La floración ocurre en dos épocas, la primera comienza próximos al término de la primavera o a inicios del verano es decir entre noviembre y diciembre terminando generalmente en el mes de marzo, la segunda floración se produce en los meses de junio y julio a esta fase se le conoce como “Sanjuanera” por coincidir con el mes de celebraciones de San Juan.

La fructificación sucede de febrero a abril y de agosto a setiembre; la maduración de los frutos es gradual y caen al suelo en la misma forma.

Son semicaducifolios debido a que pierden sus foliolos al finalizar la producción de frutos.

Las semillas de esta especie, además de tener la testa dura, están contenidas en un artejo huesoso del endocarpio que permite tener un periodo largo de latencia, y para germinar tiene que desgastarse o romperse, tanto el endocarpio como la testa, mediante la acción de la humedad, temperatura, microorganismos y otros factores que lo escarifican y así poder absorber humedad y germinar.

Los ganados caprino, ovino, vacuno y animales silvestres como el “zorro”, *Pseudalopex sechurae* “ardilla” *Sciurus stramineus* Eydoux & Souleyet; son los encargados de escarificar, cuando se alimentan con vainas de algarrobo, eliminando junto con las heces las semillas aptas para germinar, la raíz es la que nace primero, y al cabo de 3 meses puede alcanzar más de 0,50 m. y en seis meses el tallo mide 1 m. la raíz profundiza 3 m.; a los 3 años, sus raíces pueden alcanzar 10 metros de profundidad.

En terrenos húmedos, las plantas se desarrollan rápidamente, en 2-3 años, alcanzan una altura de 3-4 m. y comienzan a dar sus primeros frutos.

Los algarrobos que miden entre 10-12 m. de altura corren el riesgo de caer debido a las pocas raíces secundarias extendidas a unos 5 cm. debajo de la superficie del suelo, la raíz principal

(pivotante) a pesar de ser muy larga que profundiza hasta llegar en contacto con la napa freática no ofrece seguridad, el peso del árbol en un suelo arenoso hace que se caiga; estando tendido en el suelo con la raíz principal fija, con humedad, las ramas generan nuevas plantas y sigue viviendo, como el “algarrobo milenario”.

En los arenales y dunas, el tamaño de los algarrobos es menor que, los que crecen en lugares planos, sólo alcanzan 4-5 m. de alto, inclusive algunos tienen sus ramas echadas a ras del suelo, con un tronco que no pasa de 1 m de alto, la copa típica en la planta de esta especie es circular, aparasolada y con follaje denso, la madera es dura, compacta y pesada, de fibra retorcida (figura 3 y 4).



Figura 4. *Prosopis limensis* Benth.: a. Árbol de mayor grosor que quedó después de la destrucción por los ex-invasores de Palería y Pómac I-SHBP, b. Corta ilegal c. Quema para realizar agricultura migratoria por los invasores en Palería, d. Elaboración de carbón-huayrona. (Fuente: SERNANP 2008-2010)

2.2.4. Importancia de la especie

Ha constituido el recurso etnobotánico de mayor importancia en el sustento de las culturas que se desarrollaron en la costa central del Perú y se conoció como “Ong” en la lengua Muchick y “Guarango” en Quechua, el uso de esta especie se da desde el inicio de la civilización humana en la costa norte peruana, con la cultura de Cupisnique hace 2500 años antes de Cristo, lo utilizaban en la construcción de sus viviendas y tumbas, como combustible para cocinar y leña para los hornos de alfarería; también se usaba, en la alimentación de los camélidos; como abono y como árbol sagrado.

En el Santuario Histórico Bosque de Pómac existe el templo de las columnas de huacas Lucia-Cholope que fue construido con 24 columnas de algarrobo (De las culturas Cholope-Cupisnique 1000-500 A.C.) de 1,20 m de diámetro por 3 a 4 m. de altura, pintadas de rojo y que concluyen en su extremo distal con horcones de algarrobo, asimismo hay vestigios de troncos encontrados en las tumbas de los restos arqueológicos de Puemape y Huaca Prieto, en el período pre-cerámico tardío (1100-1375), (Vásquez *et al.*, 2010).

Actualmente su madera se usa como leña y carbón, construcción de viviendas, paradores para cercado de chacras, quinchas, compuertas de canales de riego, puertas, muebles en general mayormente para mangos de herramientas: picos, hachas, combas, martillos, etc., menos frecuente para puertas, ventanas, sillas, mesas, catres.

La hoja denominada “Poña” sirve de alimento a la ganadería, las vainas son utilizadas también como forraje y es materia prima para la elaboración de la algarrobina, y preparación de alimentos cotidianos llamado yupicín, como planta de adorno, se usa en avenidas, parques y jardines, como cortinas protectoras de viento, alrededor de las viviendas rurales o en bordes de caminos y chacras, también como árbol de sombra para el ganado (Vásquez *et al.*, 2010).

Los antepasados de matriz étnico cultural Muchik, utilizaban madera de algarrobo no sólo para la edificación de viviendas, sino también para la construcción de tumbas ceremoniales y objetos sagrados, como ídolos tallados (Aimi *et al.*, 2008).

Shimada, (1985) descubrió un extenso número de hornos de cerámica (40 hornos de 3 a 4,50 m. debajo de la superficie) superpuestos y bien preservados en el Monumento Arqueológico Nacional y Reserva Ecológica de Poma, Batán Grande, localizado en el valle medio del río

La Leche-Canal Poma. Indica que, en el área de excavación N°1, punto transicional (sedimento fino), entre los estratos 8 y 9, se registró los restos de, al menos, cuatro probables hornos.

Uno fue un pequeño y tosco hoyo ovoide, de por lo menos 65 cm. de largo, 25 cm. de ancho y 30 cm de profundidad, con una mezcla de carbón y ceniza en el fondo.

La concentración de carbón corresponde a la madera quemada del algarrobo (*Prosopis juliflora*, árbol indígena con una madera dura, densa y rica en resina).

La identificación de este hoyo, como los restos de un horno, está sustentada por sólidas evidencias circunstanciales.

También, indica que, tanto la fundición de cobre arsenical como la cocción de la cerámica requirieron una gran cantidad de combustible de alta calidad. Los restos de carbón en los receptáculos para fundición de metal y en los hornos de cerámica el principal combustible fueron los árboles de algarrobo.

La abundancia local de estos árboles fue probablemente, el factor clave para la presencia de centros metalúrgicos y cerámicos en el valle de La Leche. Al mismo tiempo, las pequeñas dimensiones de la leña (ramas) fueron deducidas de los restos de carbón, tanto en los centros metalúrgicos como en los centros de producción alfarera, sugiriendo que podría vislumbrarse un manejo adecuado del combustible.

La tumba del Señor de Sipán en Huaca Rajada, considerada la más rica del Perú, está construida a base de troncos de algarrobo, igual sucedió con la construcción de la tumba de la señora de Cao. La llama costera *Lama glama* L., de cuello corto que criaban los Moches, que desaparecieron a la llegada de los españoles, tenían en sus coprolitos abundante semilla de algarrobo.

Las literas de los señores de Sicán, los vasos ceremoniales eran confeccionadas con madera de algarrobo (SERNANP, 2011).

2.3. Dendrocronología

Según Fritts (1976) y Schweingruber (1988 y1996), la dendrocronología (dendron; árbol, cronos; tiempo, logos; estudio), es definida como la ciencia de datación de los anillos de crecimiento de las plantas arbóreas y arbustivas leñosas.

Los primeros estudios de los anillos de crecimiento fue realizado por el astrónomo Andrew Ellicot Douglas en 1901, era para relacionar los ciclos de la actividad solar y el clima terrestre, vislumbrando, como un tronco crece de una manera directa y aproximada al clima, este astrónomo basó su premisa de que el crecimiento de los árboles es resultado de la interacción entre los nutrientes y la disponibilidad de agua, al profundizar sus análisis observó el mismo patrón de espesor de los anillos de crecimiento (largo y ancho) entre diferentes árboles de la misma especie creciendo en un mismo periodo de tiempo, favoreciendo así la datación cruzada, considerando además que la datación cruzada del leño de árboles permite determinar el año de formación de los anillos de crecimiento coincidiendo con los años del calendario (Brown, 2003) mostrando de esta manera a datar otras muestras de madera, desde que son contemporáneos a alguna serie de edad conocida (Chagas, 2009).

Así también, Campos (2009), menciona que en una definición estricta la dendrocronología, es la ciencia de la datación de maderas utilizando sus anillos anuales, y en una definición amplia, podemos decir 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) adiciona 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 la proporción de madera temprana y tardía, pueden ser medidas y registradas como series en el tiempo. Si bien, 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).

2.3.1. Principios de la Dendrocronología

La Dendrocronología según Tomazello *et al.*, (2001) como cualquier otra ciencia, se rige por un conjunto de principios o reglas científicas, las cuales tienen sus raíces en el año 1875 (Principio de uniformidad), y más recientemente en el año 1987 (Principio de la agregación de los factores ambientales). Algunos principios se aplican específicamente para estudios dendrocronológicos, mientras que otros son comunes a muchas disciplinas (Grissino-Mayer, 1996; Tomazello *et al.*, 2001), Asimismo, León y Espinoza-de-Pernia 2001, describen los principios de la siguiente forma:

- **Principio de uniformidad:** Este principio indica que los procesos físicos (Elementos del clima como: la insolación, la temperatura y la lluvia; la composición del suelo y del agua, altitud, latitud, la existencia de protección y sitios de cría) y biológicos (Están regulados a menudo por la genética, modificación proteica) 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 para entender el 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 el bosque seco, 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 de acuerdo a Rodríguez, (2008) en Perú el factor limitante sería la lluvia.

- ***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 como la caída de un árbol y fuera como, la defoliación causada por insectos del bosque. Para maximizar la influencia de un factor ambiental en particular, los otros factores deben ser minimizados. Por ejemplo, al 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, como indica McCarthy (1998), tales como: (1) método clásico, directamente de la madera; (2) gráfico, de ploteo; (3) de lista o tabulado; (4) Crossdating mediante la medición del ancho de los anillos; (5) de computadoras y (6) los 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 examinados. 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 uno de los factores limitantes, 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 y esta sensibilidad queda reflejada en las características de los anillos formados. 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 *et al.*, 2001, han sostenido que además de los principios descritos la dendrocronología utiliza 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 ancho 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).

2.3.2. Dendrocronología y sus Aplicaciones

Tomazello *et al.*, (2001) señalan que la especialización de las investigaciones volverán a la dendrocronología en una ciencia pluridisciplinar surgiendo gradualmente otras disciplinas entre ellas la *dendroglaciología*, investiga y data la dinámica de los glaciares de antes y de ahora; *dendropirocronología*, para fechar e investigar la dinámica de los incendios naturales de antes y de ahora; *dendroarqueología*, para fechar cuando se derrumbaron los árboles y cuando se emplearon para una construcción; *dendrogeomorfología*, investiga el proceso geomorfológico, movimientos del suelo, hundimientos, deslizamientos de tierra, erosión del suelo y avalanchas de barro; *dendrohidrología*, para investigar y fechar la dinámica del entorno acuoso, cambios en la hidrología de un sitio, cambios de curso de un río, inundaciones periódicas, cambios en los procesos erosivos, cambios a nivel de lagos y represamientos de ríos; *dendroclimatología* es definida como el uso de los anillos de crecimiento para estudiar y reconstruir el clima de tiempos pasados (Grissino-Mayer, 1997). Según (Briffa, 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, se pueden desarrollar ecuaciones las cuales pueden ser utilizadas en conjunto con los datos proporcionados por los anillos de crecimiento para construir climas pasados.

La *Dendroecología* determina la relación que ocurre año a año entre el clima y las condiciones del sitio y/o el crecimiento para evaluar los factores exógenos y endógenos que afectan el crecimiento de los árboles, (Schweingruber, 1996). También la dendrocronología como se dijo anteriormente es una técnica ampliamente utilizada para la datación de los árboles colaborando con la arqueología (Schweingruber, 1988).

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).

En ese sentido la dendroecología también ayuda a estimar las tasas de crecimiento de los árboles, así lo demostró un estudio realizado en Manaus-Brasil realizado por Botosso *et al.* (1991) que determinaron la periodicidad y tasa de crecimiento de árboles de *Cedrela odorata* L. *Calophyllum angulare* A.C. Sm. y *Melicocca bijuga* L. En el mismo sentido Brien y Zuidema (2003) utilizaron los anillos de crecimiento para determinar tasas de crecimiento de árboles de *Cedrela odorata* L., *Peltogyne heterophylla* M. F. Silva y *Cedrelinga cateaniformes* (Ducke) Ducke y compararon los resultados obtenidos de tasa de crecimiento con resultados obtenidos mediante el uso de parcelas permanente de muestreo, encontrando que no existe diferencias significativas entre los resultados proveniente de estas dos fuentes de datos, demostrando de ese modo la importancia y la aplicabilidad de la utilización de los anillos de crecimiento de los árboles como fuente de información para realizar el manejo forestal.

2.4. Dendrocronología en bosques estacionalmente secos

León y Espinoza-de-Pernia (2001) señalaron que hasta hace poco tiempo existían pocas tentativas de realizar estudios de análisis de anillos en los bosques tropicales. La presencia de anillos no distintivos 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.

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 y 1994), encontró que de un total de 400 especies que crecen en la región amazonas y Venezuela, 240 desarrollan anillos de crecimiento adecuados para la realización de estudios dendrocronológicos. Schweingruber (1996), construyó cronologías de 180 años para *Tectona grandis* L.f. y *Cedrela toona* Roxb., *ex* Rottler & Willd. En el sureste de la India. D'Arrigo *et al.*, (1997) señala que en Tailandia se han realizado estudios de dendrocronología con *Pinus kesiya* Royle *ex* Gordon, *P. merkussi* Jungh. & de Vriese y *Tectona grandis* L.f.; estableciendo cronologías que abarcan desde los años 1647 hasta 1993 para *P. merkussi*. En la última década ha habido un crecimiento notorio en investigaciones dendrocronológicas, en Sudamérica, en Brasil (Détienne y Mariaux 1970, Détienne 1976, Vetter y Botosso 1989, Worbes 1989, Détienne 1989, Worbes 1995, Tomazello 1985, Lisi *et al.*, 1999, Tomazello y Cardoso 1999, Tomazello *et al.*, 2001), Bolivia (Brienen y Zuidemman, 2003 y 2005) y Perú (Rosero, 2009 y Campos, 2009).

En los bosques amazónicos de Bolivia, Brienen y Zuidema.(2005), demostraron que utilizando el análisis de los anillos, se pueden realizar las estimaciones de la edad de los árboles talados y la distribución de tamaño de los árboles potenciales para la próxima cosecha, y que al correlacionar el ancho de los anillos y los datos mensuales de precipitación se determina el carácter anual de los anillos, como resultados de la evaluación de la relación clima-crecimiento encontraron que existe una relación positiva entre el crecimiento de los árboles y las lluvias en determinados periodos del año, indica que la lluvia juega un papel importante en el crecimiento del árbol. Estos resultados demuestran claramente que el análisis de anillos de árboles puede aplicarse con éxito en los trópicos y que es un método prometedor para las diferentes disciplinas de investigación.

2.5. La dendrocronología y el crecimiento de los árboles: importancia en el manejo forestal

García y Rodríguez (1993), Patiño *et al.*, (1994) y López *et al.*, (2005), señalaron que en los aprovechamientos forestales, sobre todo de bosques tropicales es necesario que los estudios de manejo se apoyen con información que indique tanto el estado actual del bosque adulto, como el de su regeneración y el del incremento de las especies a fin de fundamentar el manejo así como apoyar las decisiones de tratamientos silvícola a aplicar que permita asegurar la sostenibilidad de los bosques. Es decir, que para hacer un manejo forestal sostenible, se debe aprovechar en el bosque un volumen igual al crecimiento que se ha dado en ese tiempo, para evitar que se disminuya el vuelo por debajo de los límites que le permitan la recuperación de su potencial de producción, dentro de períodos económicamente interesantes, entonces conocer la tasa de crecimiento de los mejores individuos de las especies comerciales es de gran importancia, pues de ello depende, en gran medida, el éxito económico del manejo (Valerio y Salas, 1998) y de su conservación (Manta, 1988).

Para la obtención de información necesaria para realizar un manejo forestal se necesita realizar evaluaciones y monitoreo de las prácticas silviculturales, para el cual se instalan parcelas permanentes de muestreo que constituyen elementos indispensables para determinar científicamente las variables que definen el crecimiento y la dinámica del bosque (Manzanero y Pinelo 2004), ya que normalmente este tipo de parcela nos arroja información sumamente importante (Mortalidad, natalidad y crecimiento) para la planificación del manejo y las actividades silviculturales (Lounman *et al.*, 2001).

Sin embargo, la medición de las Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) es un método que consume relativamente mucho tiempo si se quiere determinar los índices de crecimiento (Lieberman *et al.*, 1985). Además, para obtener datos suficientemente confiables, las PPM's necesitan ser medidas sobre un periodo largo de tiempo; en vista que los árboles tropicales generalmente tienen índices de crecimiento en diámetro bastante bajos: 1-2 mm por año (Poorter *et al.*, 2001).

Entonces considerando que la evaluación de las PPM's demanda mucho tiempo, como alternativa innovadora se presenta el análisis de anillos de crecimiento, que según Worbes (1995), el análisis de anillos de crecimiento es un método conveniente y directo para la recolección de información de crecimiento de árboles. El análisis de anillos en las especies tropicales es usado para determinar la edad de los árboles (Worbes *et al.*, 1999), para el estudio de las respuestas de crecimiento a los cambios estacionales de precipitación (Dunisch *et al.*, 2003) y para estudiar las tasas de crecimiento y las relaciones entre edad y tamaño (Boninsegna *et al.*, 1989). Recientemente se ha descrito sobre el potencial del análisis de los anillos de crecimiento para el manejo forestal; pero a pesar de ello, este es escasamente utilizado en las regiones tropicales, como ejemplarizan Stahle *et al.*, (1999) y Worbes *et al.*, (2002). Tanto en Bolivia como en nuestro país aún se ha utilizado la evaluación de anillos de crecimiento, como fuente de datos para obtener las tasas de crecimiento (Brienen y Zuidema, 2003). Sin embargo, diversos estudios han buscado encontrar la edad de los árboles cuando alcanzan los diámetros mínimos de corta establecido por las legislaciones forestales correspondiente a cada país, para ello han utilizado la técnica de la medición de ancho de anillos. Brienen (2003) en los bosques de la Amazonía boliviana encontró que un árbol de *Peltogyne heterophylla* M.F. Silva, puede alcanzar el DMC de 55 cm. en 135 años aproximadamente y así también *C. cateaniformes*, heliófita parcial, para obtener un diámetro de 50 cm. tarda aproximadamente 65 años. En Cajamarca Becerra (2010) estimó que para *Prumnopitys harmsiana* (Pilg.) de Laub., y *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) son especies que tienen temperamentos parecidos a *Prosopis limensis* Benth., los individuos de estas especies demoraron 121 y 109 años respectivamente para alcanzar un diámetro de 41 cm.

Otros estudios han buscado determinar la edad de los árboles con métodos mucho más caros, en términos económicos, como por ejemplo la utilización de radiocarbono (^{14}C). En Manaos, Brasil, Mozetto *et al.*, (1988), encontró un individuo de *Hymenaea courbaril* L. quien a los 512 años de edad alcanzó un diámetro de 64 cm.

2.6. Crecimiento y rendimiento

El crecimiento como señala Valerio y Salas (1998), es la variación del tamaño de un individuo en el tiempo y la magnitud de la variación se denomina incremento. Tiene lugar simultánea e independiente en sus diferentes partes, debido a la actividad de los meristemos primarios, que provocan el crecimiento longitudinal: altura, longitud de las ramas y raíces, etc., y de los secundarios o cambium, que da lugar al crecimiento en grosor o en diámetro, al producir nueva madera hacia el interior y corteza hacia el exterior. El crecimiento también está influenciado por la interacción de factores genéticos, ambientales y silvícolas (Diéguez *et al.*, 2003).

Así también, se puede señalar que el crecimiento de los árboles es un proceso complejo de respuesta ante diferentes influencias o condicionantes externos del entorno. Entre los factores naturales que influyen en el crecimiento son las características del clima y del suelo las que determinan junto con los organismos del ecosistema, el estado físico-químico del entorno en el que se desarrollan dichos organismos (Klaus *et al.*, 2007). Por otro lado también se puede entender como crecimiento al proceso caracterizado por los cambios en la forma y en el tamaño del tronco, con adición continua de nuevas capas de leño a lo largo de todo el material leñoso. La producción expresa la cantidad total de volumen u otra variable acumulada en un determinado periodo de tiempo y un determinado entorno inorgánico (figura 5) (Clutter, 1983).

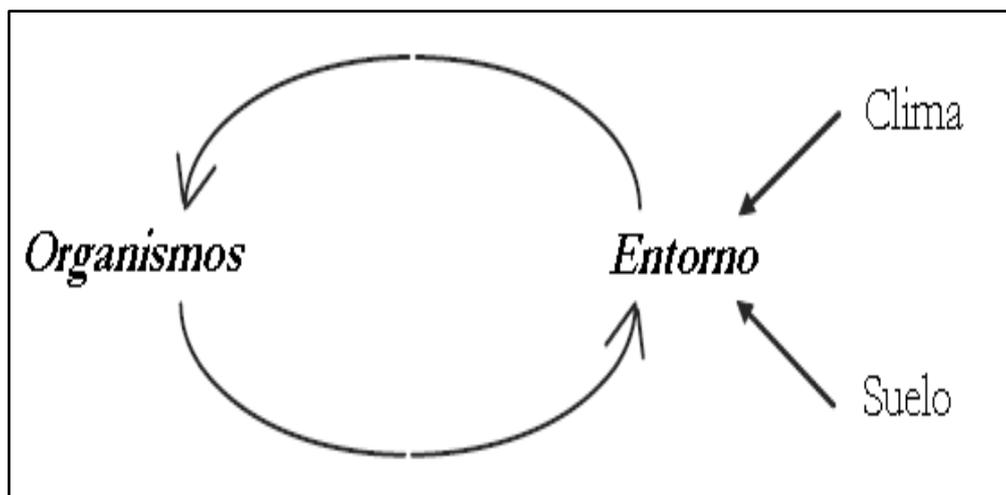


Figura 5. Principio del acoplamiento en el ecosistema forestal entre los organismos y su entorno inorgánico. Fuente: (Klaus *et al.*, 2007).

Los factores que afectan directamente el crecimiento de las plantas son la luz, temperatura, agua, nutrientes y concentración de CO₂. La disponibilidad de esos elementos para cada árbol depende de la densidad de la población, que puede ser controlada en el manejo de la población a través de desbastes y cortes de mejoramiento (Schneider y Schneider, 2008).

Para realizar un análisis del crecimiento, del bosque como un todo y de los árboles individuales, deben analizarse las características del medio y las de los individuos. Se debe tener presente que el crecimiento total es la suma del crecimiento de los individuos, el efecto de las características genéticas como la especie, el vigor (su capacidad intrínseca para aprovechar los recursos disponibles), la etapa de desarrollo de los árboles (edad), el sitio (disponibilidad de agua, minerales, luz, y temperatura), el manejo (referido a la competencia) (Valerio y Salas, 1998).

Según (Iturre y Araujo, 2006), el crecimiento en diámetro puede variar mucho de un árbol a otro. Los árboles de una misma clase de edad pueden presentar incrementos diferentes en un 50-100 por ciento con relación al crecimiento medio. Por ejemplo Da-Silva *et al.*, (2010), en un estudio sobre la influencia de la sombra en el crecimiento de la *Hymenea courbaril L.*, encontró que las plantas con un sombreado de 80 por ciento se desarrollaba mejor en términos de número de hojas, altura de la planta y tamaño de área radicular, y en el Ecuador en un estudio sobre la dinámica del crecimiento con *Alnus acuminata* Kunth., la evaluación realizada en el mes de setiembre, Bräuning y Ganzhi (2006) encontró una correlación positiva entre la precipitación y el crecimiento. Así mismo en Brasil se analizaron las diferencias de crecimiento con las especies *Terminalia catappa L.*, *Hovenia dulcis* Thunb., *Tabebuia pentaphylla L.* Hemsí, en dos sitios distintos, con semejantes respuestas de correlación climática. Chagas (2009) encontró que las diferencias del comportamiento se debe principalmente a los siguientes factores: (a) el clima, (b) fertilidad del suelo, (c) condiciones locales de crecimiento tales como: competencia y distancia entre árboles, proximidad de curso de agua relacionado con la humedad del suelo y desenvolvimiento del sistema radicular y, (d) condiciones inherentes a los árboles (calidad de brinzales y variación genética).

Los componentes principales del crecimiento y producción son la mortalidad, el reclutamiento, el corte y las producciones corriente y futura. La mortalidad está referido al volumen o número de árboles existentes inicialmente que morirán en un determinado período. El reclutamiento

representa los árboles medidos en una edad cualquiera y que no fueron medidos en la edad anterior por no haber alcanzado un diámetro mínimo predeterminado.

El corte se refiere al volumen o número de árboles vivos cosechados en un determinado período. La producción corriente y el crecimiento remanente acumulado hasta una edad actual y futura (Campos y Leite, 2006).

El incremento o crecimiento de una población, según Schneider y Schneider (2008), puede ser expresado a través del Incremento Corriente Anual-ICA y el Incremento Medio Anual-IMA.

- **Incremento Corriente Anual-ICA.**

El ICA corresponde al valor de aumento de la producción en el período de un año. Es decir es el valor del elemento dendrométrico estudiado en el año anterior menos el valor actual.

- **Incremento Medio Anual-IMA.**

El IMA es el valor que expresa el promedio del crecimiento anual del árbol, se obtiene dividiendo ya sea el volumen, diámetro, área basal o altura actuales de un árbol o rodal entre sus edades.

Según Imaña y Encinas (2008), este valor es de máxima utilidad cuando se trata de realizar manejo forestal de bosques, ya que cuando el IMA alcanza su valor máximo se define en los sistemas de manejo como el mejor momento, desde el punto de vista silvicultural para poder intervenir con los raleos o cortas de explotación.

2.6.1. Fases del crecimiento

Según Valerio y Salas (1998), el crecimiento es el producto de dos fuerzas internas: por un lado está el **anabolismo**, que se constituye en el proceso de síntesis, mediante el cual se captura la energía necesaria para producir tejidos, o para efectuar los movimientos de transporte de nutrientes a las diferentes partes del árbol, esta capacidad de síntesis es proporcional a la superficie de intercambio del organismo; por otra parte está el **catabolismo**, la fuerza opuesta, que permite la utilización de la energía en las funciones de transporte, y de respiración, y que es proporcional al volumen de los individuos. Entonces se puede deducir que mientras más crece un árbol mayor cantidad de energía requerirá el árbol para poder mantenerse, por lo que la trayectoria del crecimiento de cualquier organismo vivo sigue la forma sigmoidea, dividido

en tres fases: juvenil, adulta y de maduración. Esta curva muestra valores obtenidos hasta una determinada edad, forma sigmoidea. De acuerdo con Schneider y Schneider (2008), el crecimiento comienza en el punto cero con el crecimiento lento, pasando a ser más alto hasta un punto de inflexión y se aproxima a la asíntota (tamaño máximo que una variable puede tener). Sin embargo, la forma puede variar para cada situación de genotipo y ambiente.

Para cada caso, el silvicultor necesita pronosticar la extensión del período de crecimiento en la fase juvenil, la tasa de crecimiento (inclinación de la curva) durante la fase de pleno vigor, el período donde la tasa de crecimiento declina y el grado en que ciertas características son controladas por el genotipo. El crecimiento, por lo tanto, es afectado por el estadio de desarrollo de una población que está siempre condicionado por la edad, calidad de sitio, especie, densidad y la unidad de medición en que se expresa (Daniel *et al.*, 1979).

La curva de crecimiento es una representación teórica de la evolución del bosque en cualquier parámetro dendrométrico evaluado en función del tiempo. Las curvas de incremento corriente anual e incremento medio anual pueden ser derivadas de curvas acumulativas de crecimiento Avery y Burkhart (1994). El incremento corriente anual-ICA crece, culmina y decrece rápidamente. El incremento medio anual-IMA crece más lentamente, teniendo un máximo más tarde, hasta llegar a igualar al ICA, a continuación desde aquel punto empieza a declinar gradualmente (figura 6).

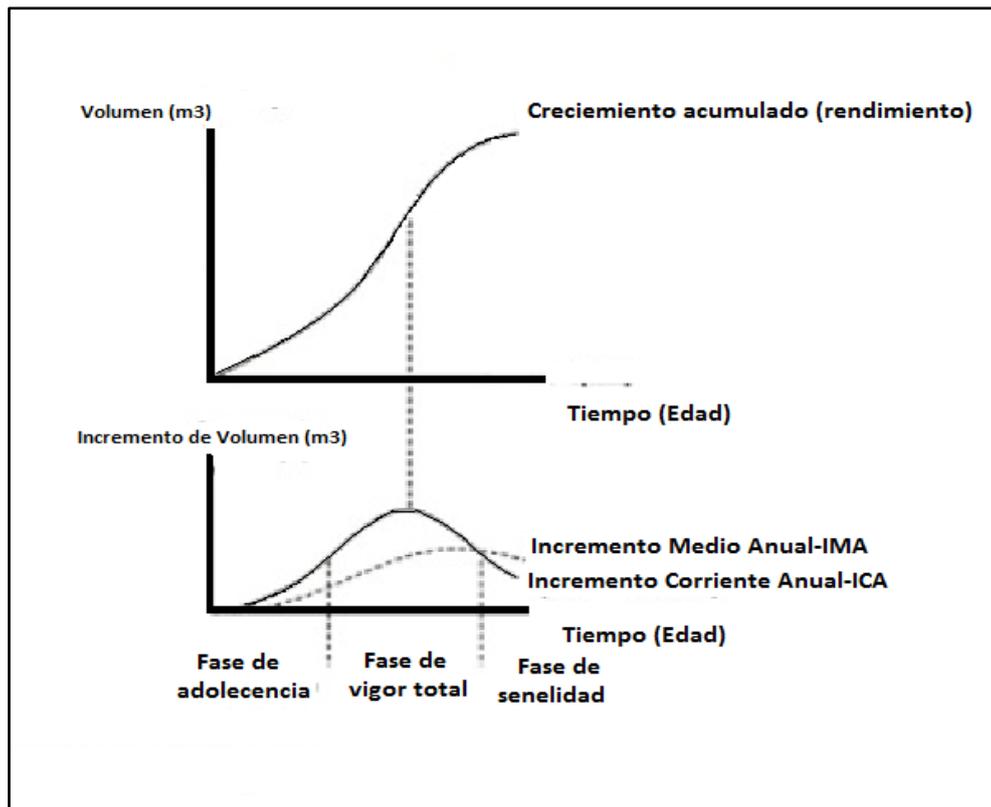


Figura 6. Relación entre las curvas de crecimiento acumulado, crecimiento medio y el crecimiento corriente. Fuente: Gourlay, 1995.

Rodríguez (1991), indica «que la curva del ICA tiene un máximo antes de la curva del IMA y que las dos curvas se cruzan en el punto máximo del IMA, llamando normalmente a aquel punto como la edad técnica de corta». Determinar esta edad a través de este criterio implica por lo tanto el corte del árbol o de la población cuando esta llega a tener el máximo IMA. Se justifica el empleo de este método considerando que a lo largo de varias rotaciones en promedio se estaría extrayendo el mayor volumen posible (Figura 6).

Husch *et al.* (1982), señalaron que para trabajar con curvas de crecimiento se debe comprender que cada especie o tal vez cada árbol necesita de un tiempo propio para su construcción, este tiempo fisiológico varía con la especie y el periodo del desenvolvimiento.

2.7. Modelos de crecimiento

Según Vargas *et al.*, (2008) los bosques son ecosistemas dinámicos que están en constante cambio y para obtener información relevante para la toma de decisiones es necesario proyectar esos cambios, que incluyen el crecimiento y producción. El estudio del crecimiento y de la producción presente y futura de los árboles y rodales forestales es básico y fundamental para

la planificación y administración forestal (Moskovich, 2004). Prodan (1993), añade que los bosques no se deben aprovechar más allá de su crecimiento. Esto hace imprescindible conocer su incremento en diámetro altura y las variables que de ellos se derivaran, es decir durante el planeamiento del manejo forestal se debe tener en cuenta cuatro aspectos básicos ¿cómo?, ¿cuánto?, ¿cuándo?, y ¿para quién producir?; para responder a esas preguntas es necesario tener un buen conocimiento del crecimiento y producción de los bosques. Este tipo de información se puede conocer con el desarrollo de modelos de producción que ayudan a predecir el desarrollo de una masa, empleando características del sitio, edad y opciones de manejo como variables de entrada (Ribeiro, 2010).

El estudio de la dinámica del crecimiento ofrece información básica para el cálculo de la rentabilidad de la producción y la toma de decisiones referidas para el manejo de masas forestales (Pece, 1996; Gaillard, 2000). Los modelos de crecimiento son una herramienta esencial en la planificación del manejo y el aprovechamiento forestal.

En los últimos años se ha venido utilizando los conceptos de modelos para ayudar a predecir o a describir un aspecto dinámico de los bosques como por ejemplo el crecimiento, sin embargo es importante considerar que el modelo según Sanquetta (1996), es una representación física o abstracta de la forma o función de entidades u objetos reales. Por ejemplo puede ser: ecuaciones matemáticas de procesos fisiológicos, figuras o estatuas. También se puede decir que un modelo de crecimiento es una abstracción de la dinámica forestal natural, abarcando crecimiento, mortalidad y otros cambios en la composición y estructura del rodal (Vanclay, 1994). Generalmente se usa el término “Modelo de Crecimiento” para hacer referencia a un sistema de ecuaciones con una predicción de crecimiento y producción de un rodal bajo una amplia variedad de condiciones.

Los modelos generados durante el modelado prueban hipótesis que son una explicación explícita de las presuposiciones del modelo. Los modelos son usados para observar las consecuencias de las predicciones que de ser hechas naturalmente serían muy complicadas, tomarían demasiado tiempo, o no podrían realizarse por razones prácticas o éticas (Moskovich, 2004).

La manera lógica de expresar un crecimiento o incremento (incremento de una variable dendrométrica considerada) es a través de un modelo, siendo que puede ser caracterizado por gráficos y tablas o por una ecuación o conjunto de sub-modelos cada cual con una o más ecuaciones. Existen diferentes tipos de modelos de producción, cuya diferencia radica principalmente en las variables utilizadas, pudiendo ser de importancia los modelos que presentan estimaciones a nivel de población globales: modelo de producción normal, modelo de producción empírico, modelo de densidad variable; modelo de producción por clase diamétrica; modelo de árboles individuales independiente de espaciamiento y dependiente de espaciamiento (Scolforo, 1998).

En este trabajo de investigación prestaremos mucha atención a la descripción de los modelos empíricos. Según Moscovich (2004) los modelos empíricos, o funciones artificiales, presentan forma matemática más simple, facilitando el ajuste y manejo, y brindan, igualmente, buenas estimativas del crecimiento. Estos modelos intentan explicar qué sucedió, está sucediendo o puede suceder en el futuro. Es un método con énfasis en la calidad de ajuste de los datos y de las predicciones (Sanquetta, 1996). Según Clutter *et al.*, (1983), estos modelos son aplicados para la predicción de la producción presente y futura.

En los bosques nativos además de toda su complejidad y de su composición con un gran número de especies con las más diferentes características silviculturales, ecológicas y tecnológicas pocas son las informaciones de cómo las plantas crecen sea en áreas intactas o áreas exploradas o todavía en áreas sujetas bajo régimen de manejo (Scolforo *et al.*, 2000).

Existen diversos modelos de crecimiento desarrollado por diversos investigadores entre otros podemos señalar a los modelos de Schumacher, Clutter, Buckman, etc. (Chagas y Leite, 2006).

Según Brena y Bom (1991), la formulación padrón del modelo se basa en considerar la tasa de crecimiento de un organismo, o población, como la resultante de la tasa de crecimiento anabólica (metabolismo constitutivo de un organismo) y la tasa de crecimiento catabólica (metabolismo destructivo de un organismo). La tasa anabólica es considerada proporcional al tamaño del organismo o población, elevado a una potencia, en tanto que la tasa catabólica es directamente proporcional al tamaño.

2.8. Ciclo de crecimiento

El ciclo de corta normalmente es el tiempo que demora el bosque en recuperar el volumen aprovechado inicialmente considerando el diámetro mínimo de corta. Al ciclo de corta también se conoce como intervalos de tiempo entre un aprovechamiento y otro en una misma área, es el método más común para la regulación de la extracción forestal en los bosques tropicales, se sustenta en el supuesto generalizado de que, usando este método, se puede lograr un flujo sostenible de madera dividiendo el área total de corta permisible en un bosque manejado entre los años de duración del ciclo de corta, Fredericksen (2003) y según Dauber (2003) el ciclo de corta también es definido al tiempo de paso en el que la masa remanente recupera el área basal, el número de árboles o el volumen cosechado en el primer aprovechamiento. En otras palabras el ciclo de corta puede estar definido por el número de árboles por hectárea, el área basal o el volumen extraído para árboles cuyo DAP está por encima del diámetro mínimo de corta definido en cada caso (Meza, 2008). Estos se encuentran relacionado con la determinación del ciclo de corta silvicultural, por el contrario existen otros tipo de ciclos de corta que más bien dependen del tipo de sistema silvicultural y los objetivos de manejo forestal entre otros criterios (Navarro 2005). Por ejemplo, el ciclo de corta tecnológico trata de obtener la máxima cantidad de un producto determinado (Jiménez *et al.*, *s.f.*) o el ciclo de corta del valor de la tierra forestal que maximiza el valor presente de todos los ciclo de corta futuros de un sistema de producción forestal (Navarro, 2005). Entonces el ciclo de corta estará estrechamente relacionado a la existencia de árboles que se encuentran por debajo del diámetro mínimo de corta sobre todo aquellas que se encuentran en las clases diamétricas inferiores inmediatas al DMC. La capacidad de recuperación del bosque en términos de número de árboles por hectárea, volumen por hectárea o área basal aprovechada está influenciada por la intensidad de aprovechamiento y capacidad productiva del sitio (Meza 2010). Fredericksen (1998) mencionó que existen parámetros que describen el comportamiento del incremento y que están determinados por una serie de condiciones particulares de cada población tales como: factores genéticos, ambientales, de vigor, de competencia y de edad, que definen las condiciones propias del tipo de bosque sin embargo según Dauber (2003), no es muy realista esperar una sustitución total del área basal, originalmente aprovechada con los ciclos de corta y el diámetro mínimo de corta, utilizados en la práctica del manejo forestal. Igualmente hay que considerar la cosecha del primer ciclo como algo excepcional, un bono de la naturaleza, que se debe al desarrollo del bosque sin mayor intervención humana durante mucho tiempo.

De acuerdo a simulaciones en los bosques naturales de Bolivia, con características muy similares al bosque de la región de Madre de Dios, simulaciones realizadas por Dauber (2003), Brienen *et al.*, (2003) con un ciclo de corta de 20 años, un bosque no recupera el 100 por ciento del área basal, número de árboles o volumen originalmente aprovechada.

En nuestro país la anterior Ley Forestal y de Fauna silvestre 27308 define los diámetros mínimos de corta coincidiendo con la actual Ley Forestal y de Fauna Silvestre-Ley 29763 vigente, donde se menciona que para la formulación de los Planes de Manejo Forestal se puede considerar un ciclo de corta 20 años, sin embargo, esta circunstancia está condicionada a la existencia de datos provenientes de las mediciones de las parcelas permanentes de muestreo u otro tipo de investigación que ayude a determinar los incrementos en las variables dasométricas de interés.

Sin embargo en nuestro país no hay estudios que analicen la dinámica de las especies aprovechadas y es muy probable que la reducción de una población provoque la endogamia, cruce entre parientes cercanos. El cruce entre genotipos muy parecidos conduce hacia la homocigosis, cuando para un determinado carácter se recibe información idéntica del padre y de la madre, en contraste con la heterocigosis en la que las informaciones, transmitidas en el polen y el óvulo, son diferentes y se manifiesta el carácter dominante. Cuando hay cruces entre parientes existe el riesgo de degeneración de la especie (BOLFOR, 1997). Esta falta de información ha inducido al Consorcio Otorongo a establecer como medidas preventivas un diámetro mínimo de corta de 70 cm y una intensidad de corta del 80 por ciento parámetros que están por encima de lo estipulado por la Legislación Forestal y de Fauna Silvestre.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

El Santuario Histórico Bosque de Pómac, se encuentra ubicado en la cuenca baja del río La Leche, abarcando territorios de las provincias de Ferreñafe y Lambayeque, situados en el departamento de Lambayeque (Figuras 7 y 8), y a 30 minutos de la provincia de Ferreñafe. Tiene una extensión según, Decreto Supremo N° 034-2001-AG de 5887,38 hectáreas, a 35 m.s.n.m.; situado a 79°47'43" Longitud Oeste y 6°38'24" Latitud Sur (SERNANP, 2010).

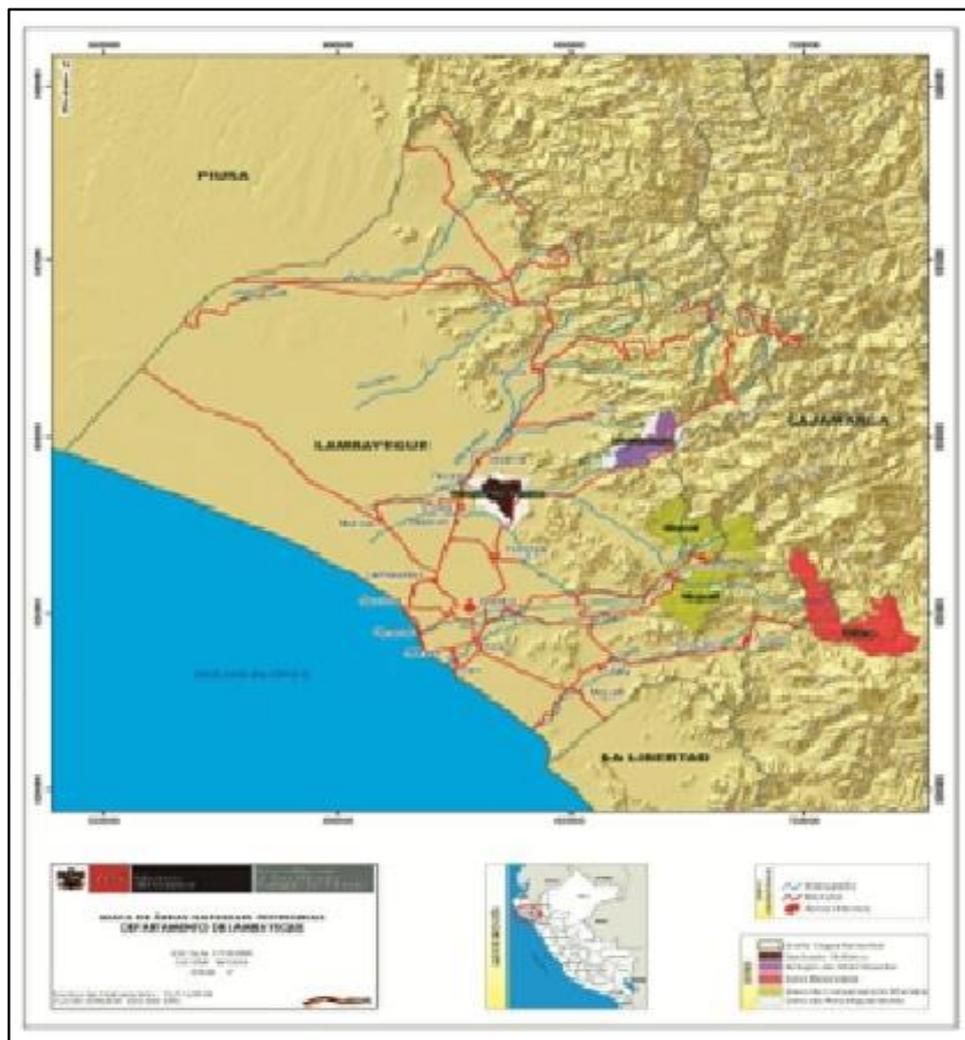


Figura 7. Ubicación del Santuario Histórico Bosque de Pómac.



Figura 8. Ubicación del Santuario Histórico Bosque de Pómac (Google Earth, 2017)

3.1.1. Ubicación de las parcelas de muestreo

En la figura 9 se muestra las cinco parcelas de muestreo en áreas más representativas del Bosque de Pómac, tuvieron formas circulares con un diámetro de 400 m. cada una, donde se seleccionaron dos árboles por parcela para el estudio dendrocronológico, (árboles caídos y/o que fueron cortados por taladores ilegales).

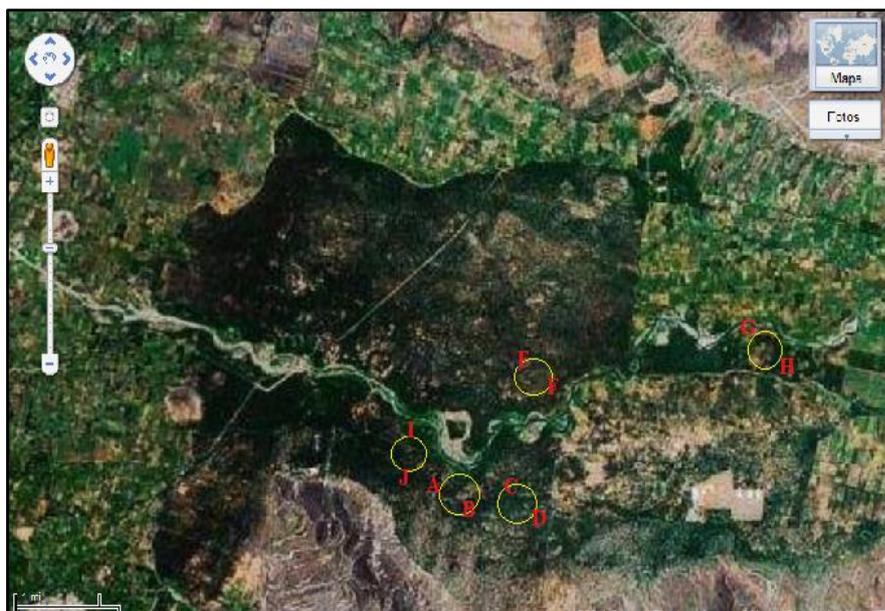


Figura 9. Ubicación de las parcelas y de los árboles seleccionados con mejores diámetros (Google Earth, 2017)

3.1.2. Inventario forestal en las parcelas de muestreo

En cada parcela, se realizó un inventario de todos los árboles aprovechables de la especie *Prosopis limensis*, siguiendo los pasos de la metodología clásica de inventarios (Malleux, 1982).

Se hizo el inventario considerando la delimitación de las parcelas, y orientación, (incluye: codificación, medición del diámetro, altura comercial, evaluación de la calidad del tronco), igualmente se hizo el levantamiento de información de la red hídrica, con esta información se construyó un mapa de dispersión de los árboles inventariados, un mapa de la red hídrica y una dispersión de los árboles con características a ser aprovechadas para ser muestreados a futuro (Figura 9).

3.1.3. Selección de Árboles

Se seleccionaron diez (10) árboles al azar de *Prosopis limensis*, dos (2) en cada parcela. Los árboles fueron elegidos, en aquellas áreas en el hubieron talas ilegales, es decir, árboles derribados por infractores y que quedaron inmovilizados durante la intervención por los guardaparques del Santuario Histórico Bosque de Pómac, tomándose en cuenta los siguientes criterios:

- 1) Los árboles tenían que estar ubicados como mínimo a una distancia de 20 metros de los cursos de agua, esta consideración se tuvo sabiendo que el agua es un elemento importante para el crecimiento de las plantas y que podría distorsionar los resultados, tendrían valores no representativos.
- 2) La dispersión de árboles dentro del área muestreada.
- 3) Las características sanitarias del duramen (árboles que no tengan hueco por pudrición rajaduras etc. (tabla 1, figura 10).

Tabla 1. Localización geográfica de los árboles de donde se obtuvo los discos muestra.

Nº de Árbol	Latitudes Sur (⁰ S)	Longitudes Oeste (⁰ O)	Altitudes (m.s.n.m.)
1	06 ⁰ 29'59"	79 ⁰ 46'11"	85.98
2	06 ⁰ 29'59"	79 ⁰ 46'28"	92.99
3	06 ⁰ 30'02"	79 ⁰ 45'49"	72.57
4	06 ⁰ 30'03"	79 ⁰ 45'32"	74.09
5	06 ⁰ 28'58"	79 ⁰ 45'26"	72.26
6	06 ⁰ 29'13"	79 ⁰ 45'24"	75.01
7	06 ⁰ 29'08"	79 ⁰ 44'25"	79.27
8	06 ⁰ 29'06"	79 ⁰ 44'13"	80.80
9	06 ⁰ 29'29"	79 ⁰ 46'46"	71.35
10	06 ⁰ 29'33"	79 ⁰ 46'36"	72.57



Figura 10. A., B., C. y E. Selección de los árboles talados con mejores diámetros
Fuente: SERNANP 2013.

3.1.4. Obtención de discos de madera (Cuerpos de prueba)

Fueron diez (10) árboles de *Prosopis limensis* Benth., de donde se obtuvo las rodajas o discos, éstos árboles han sido registrados en actas de intervención por los guardaparques del Santuario Histórico Bosque de Pómac. Previamente al corte en rodajas se registró cada ejemplar, ubicándolos de acuerdo a las condiciones fisiográficas del Santuario, edad aproximada, diámetro promedio, libre de infecciones, sin marcas en el tronco por daños mecánicos, deformaciones por presión, resquebrajamiento profundos, entre otros. Se levantó la siguiente información: diámetros a la altura del pecho-DAP (1,30 m), el número de series de cada rodaja de los árboles asignándole un número y un código, año de registro de cada árbol derribado. Se preparó por duplicado las rodajas de los diez (10) árboles de *Prosopis limensis* Benth., usando una motosierra marca STIHL con una potencia de 6,4 kW. Los discos de madera se cortaron a una altura de 1,30 m. con un espesor de tres pulgadas, no se pudo obtener las muestras del tocón del árbol derribado, porque el talador ha dejado los tocones rajados, inclusive buena parte del tallo ha sido dañado por cortes irregulares por efecto del corte con hacha, posteriormente fueron trasladados los discos, al Laboratorio de Anatomía de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali. Se escogieron sólo ocho (08) rodajas, que tenían mejores características para la visualización de los anillos de crecimiento y de evaluación de las secciones (radios) de los árboles seleccionados. (Tablas 1 y 2, y figuras 10, 11).



Figura 11. Corte de rodajas o discos de madera de los mejores árboles seleccionados.
Fuente SERNANP 2013

Tabla 2. Información de las rodajas/series seleccionadas de los árboles escogidos en el muestreo

N° DE ÁRBOL	Código	Diámetro (cm)			Duramen (cm)			Espesor de corteza (cm)			Número de serie	Longitud de radios o series (cm)
		1	2	Promedio	1	2	Promedio	1	2	Promedio		
1	PJLA	32.00	38.20	35.10	22.20	6.70	14.45	0.60	0.30	0.45	1	25.20
											2	22.50
											3	18.10
3	PJLB	21.10	29.50	25.30	16.60	7.10	11.85	1.20	0.30	0.75	1	14.30
											2	11.20
											3	12.10
3	PJLC	27.60	33.10	30.35	23.00	7.80	15.40	1.40	0.50	0.95	1	10.40
											2	26.70
											3	24.00
4	PJLD	24.50	40.90	32.70	22.60	6.90	14.75	0.70	0.50	0.60	1	20.00
											2	23.50
											3	17.40
											4	12.90
5	PJLE	26.80	24.00	25.40	14.20	7.60	10.90	0.50	0.20	0.35	1	14.60
											2	14.30
											3	10.40
											4	12.60
6	PJLF	21.40	26.30	23.85	16.10	9.30	12.70	0.40	0.30	0.35	1	12.10
											2	11.20
											3	16.90
											4	15.80
7	PJLG	22.10	29.30	25.70	10.20	8.40	9.30	0.40	0.20	0.30	1	13.60
											2	13.80
											3	10.00
											4	14.90
8	PJLH	42.20	23.50	32.85	21.60	8.10	14.85	1.00	0.40	0.70	1	25.30
											2	22.50
											3	19.60

Los discos de madera; tienen ventajas para una adecuada visualización con respecto a las muestras comunes que se obtienen para este tipo de ensayo, como es el caso de las “bagueetas”. Los discos de madera tuvieron un espesor de tres pulgadas a una altura de 1,30 m. del fuste respecto a la base del árbol.

3.1.5. Preparación acondicionamiento y transporte de los discos

Se prepararon por duplicado en campo las muestras de rodajas, o discos, tanto para estudios anatómicos y dendrocronológicos; posteriormente fueron, lijadas y pulidas en una de las caras de los discos. Los detalles anatómicos y de identificación de los anillos de crecimiento fueron hechos en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali-Perú, y el análisis con el uso de los programas COFECHA y ARSTAN se hizo en el Laboratorio de Anatomía e Identificación de Maderas de la Escuela Superior de Agricultura Luis de Queiroz-Universidad de Sao Paulo Piracicaba-Brasil.

3.2. Determinación y análisis de la formación de los anillos de crecimiento del *Prosopis limensis* Benth., Dendrocronología.

3.2.1. Preparación de las muestras del leño para caracterizar los anillos de crecimiento.

Las rodajas fueron pulidas manualmente con lijas de diferentes granos (180, 360, 400 y 600 grano/pulgada²), hasta lograr una clara visibilidad de los anillos de crecimiento sobre todo teniendo como referencia las fajas con bandas de parénquima marginal, posteriormente las muestras fueron limpiadas con una compresora de aire para remover polvos de madera.

Los anillos de crecimiento fueron analizados y fotografiados con auxilio del microscopio estereoscópico (40X), acoplado a una cámara fotográfica digital utilizando el *software Image Tool* v3.0 propuesto por Moya *et al.* (2007).

3.2.2. Delimitación y medición del ancho de los anillos de crecimiento

Una vez que todos los discos estaban lijados, se comenzó a medir el diámetro del tronco, el espesor de la corteza, y el diámetro promedio de duramen, paralelamente se demarcó 3- 4 radios (opuestos en la sección transversal) para poder hacer la delimitación de los anillos de crecimiento, se usó un microscopio estereoscópico (40X), acoplado a una cámara fotográfica digital utilizando el *software Image Tool* versión 3.0 propuesto por Moya *et al.* (2007).

Mientras se observaba se iba definiendo los anillos demarcando con un lápiz, considerando como principal argumento la línea del parénquima marginal existente. Posteriormente fueron digitalizados los radios. El ancho de los anillos de crecimiento previamente demarcado fue medido a través del *software Image Tool* versión 3.0.

Los anchos de los anillos de crecimiento generados en el *software* fueron exportados a la computadora, a una hoja de cálculo-Excel, analizando los resultados. (Tabla 2, figuras 12 y 13).



Figura 12. A. Evaluación del diámetro y determinación de las secciones de cada rodaja seleccionada; B. Rodajas evaluadas en el presente estudio, C. Determinación de las secciones de cada disco seleccionado para la medición del ancho de los anillos, D. Ablandamiento en baño María.

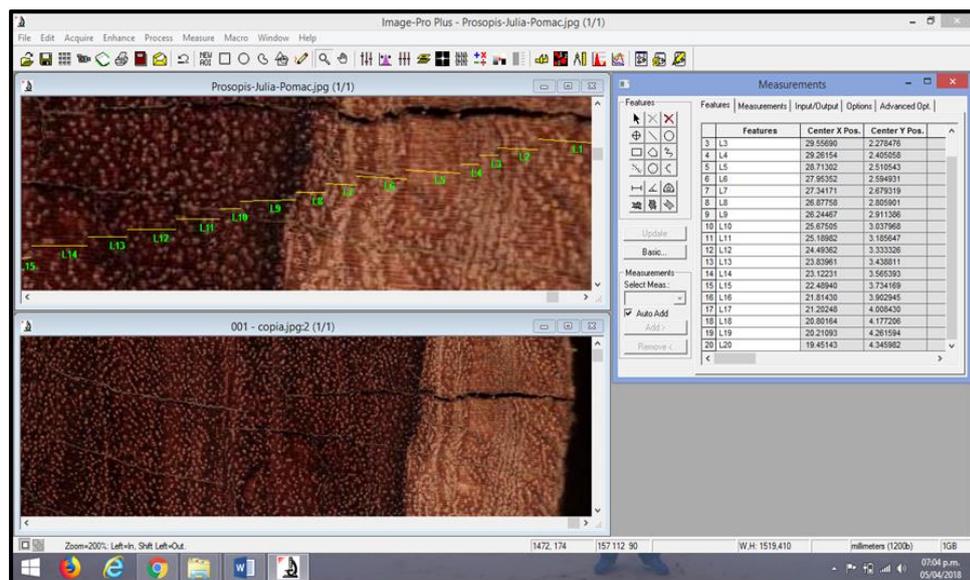


Figura 13. Medición del ancho de los anillos de *Prosopis limensis* Benth., a través del *Software Image Tool* versión 3.0

3.2.3. Sincronización de los anillos de crecimiento en los árboles de *Prosopis limensis* Benth.

Después de haber obtenido el ancho de los anillos de crecimiento por medio del *Software Image Tool* versión 3.0, se procedió a construir la serie de los anillos y se procedió a su sincronización. Posteriormente los anillos de crecimiento fueron cofechados mediante el programa COFECHA (Holmes *et al.*, 1986), que analiza estadísticamente la correlación entre

las porciones de las series fluctuantes y las series individuales o maestras independientemente datadas y verificadas, posibilitando identificar la existencia de falsos anillos o anillos faltantes de crecimiento para su posterior control. La estandarización fue realizada mediante el *spline cúbico* en las series del ancho en los anillos de crecimiento y de acuerdo a lo sugerido por Cook (1989). La tendencia de ruido fue excluida mediante el ajuste de una función de remoción (*spline cubico*).

```

C:\Users\Roger\Google Drive\UNAMAD\Asesoría de tesis\Julita\COFECHA\COFECHA.EXE :
segment by segment, and successive segments are lagged with a 5L...

Maximum time span 4096 years          For more information type: ?

Identify job (up to 5 characters) => cron1

CROSSDATED TREE-RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file => cronologiasFMT.txt

First 8 lines _cronologiasFMT.txt
a1 1962 83 297 200 457 290 307 113 353
a1 1970 297 1287 1100 377 413 477 363 583 143 100
a1 1980 120 453 240 2433 463 620 603 293 257 103
a1 1990 160 147 627 387 527 120 267 837 2670 497
a1 2000 250 403 523 310 343 83 43 130 713 -9999
a2 1903 237 87 163 193 90 67 63
a2 1910 57 137 240 37 43 57 60 60 157 257
a2 1920 117 83 63 73 160 273 127 77 73 80
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....
Format is Measurements, correct? <Y>/N -> y
Checking time span
Time series span 1903 2000 106 years 8 series, mean length 77.13 yrs
All series cover 1962 2000 47 years

UNDATED TREE-RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file =>

TITLE OF THIS RUN => corrida1

C O F E C H A
Select number or first letter to modify: Current values
1 Rigidity of SPLINE for filtering 32
2 SEGMENT length to examine 50 lagged 25
3 AUTOREGRESSIVE MODEL A
4 TRANSFORM series to logarithms Y
5 CORRELATION critical level .3281 Type P
6 MASTER dating series, save N
7 LIST ring measurements N
8 Parts of output to print 1234567
9 Omit absent rings in master series & segment corr Y
F First-difference transform of data N

Initial or number of option or <CR> to proceed =>
  
```

Figura 14. Cofechado permite la detección y corrección de posibles errores debido a una falta de sincronía a causa de anillos faltantes, anillos falsos o simplemente errores en la medición. Otorga un año calendario a cada anillo de crecimiento.

Para la obtención de la cronología de la madera de *Prosopis limensis* se ha definido los conceptos “señal” y “ruido”. Señal, es la información relevante contenida en los anillos de crecimiento, y el termino ruido, es una parte de la información presente en la serie de anillos, definiendo así que la serie de anillos de crecimiento del leño es un conjunto de varias señales y ruidos, según la aplicación del estudio dendrocronológico. En el presente estudio la señal es el crecimiento de los anillos en función del clima (precipitación y temperatura) considerando como ruido todos los factores diferentes del clima, que hayan afectado al ancho de los anillos de crecimiento o crecimiento del fuste de los árboles de *Prosopis limensis* Benth.

3.2.4. Elaboración de la serie maestra y cronología en los anillos de crecimiento del *Prosopis limensis* Benth.

Para la obtención de las cronologías de la especie se utilizó el programa ARSTAN, aplicación que pertenece al «paquete estadístico llamado Dendrochronological Program Library o DPL desarrollado por Richard Holmes, del Laboratory of Tree-ring Research de la Universidad de Arizona, EEUU», del mismo modo fueron considerados los conceptos de Cook & Kairiukstis (1989), los cuales consideran las series de los anillos de crecimiento como un agregado lineal compuesto por *señales* presentes, expresadas por la siguiente ecuación:

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

Dónde:

R_t – Serie del ancho de los anillos de crecimiento observados

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

C_t – Señal climáticamente relacionado con el ambiente

δ – indicador binario relacionado con la presencia ($\delta=1$) o ausencia ($\delta=0$) del disturbio.

$D1_t$ – Disturbios causados por perturbaciones endógenas y de la acción localizada

$D2_t$ – Disturbios causados por perturbaciones exógenas que actúan a nivel poblacional

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

t – Año relacionado con cada factor.

Para facilitar la aplicación del modelo se procuró maximizar el efecto de la variable climática en la formación de los anillos de crecimiento mediante la selección de sitio en el muestreo, seleccionando solo aquellos árboles de *Prosopis limensis* Benth., que presentaban comportamiento sensible a las variaciones climáticas estacionales (precipitación y temperatura).

En seguida, cada serie cronológica fue ajustada, 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 y de las perturbaciones endógenas y exógenas, conforme al modelo siguiente:

$$Q_t = f(A_t, \delta D1_t, \delta D2_t) \quad (2)$$

Dónde:

Q_t – tendencia de crecimiento estimada como una función apenas de la edad

f – función matemática

A_t – tendencia en el ancho de los anillos de crecimiento relacionada con el tamaño y la edad de los árboles.

δ – indicador binario relacionado con la presencia ($\delta=1$) o ausencia ($\delta=0$)

$D1_t$ – disturbios causados por perturbaciones endógenas y de acción localizada

$D2_t$ – disturbios causados por perturbaciones exógenas que actúan a nivel poblacional

t – año relacionado con cada factor.

La remoción de la tendencia de las series de los anillos de crecimiento y su consecuente estandarización, fueron realizados a través de un ajuste de una curva polinomio de baja frecuencia seguido del valor del ancho de los anillos de crecimiento por la curva ajustada, así la señal común de las series fue maximizada formando una serie máster que representa las series que compone como resultado que el software calcula las correlaciones (Pearson) entre las series individuales y la serie máster.

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 indica la metodología por Fritts (1976), cuyos datos fueron transformados en índice del ancho del anillo de crecimiento (I_t) o también denominada simplemente *índice*:

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

Dónde: I_t – índice en el ancho de los anillos de crecimiento, R_t – serie en el ancho de los anillos de crecimiento observado, Q_t – tendencia de crecimiento estimada como una función apenas de la edad.

El proceso de estandarización se ha realizado mediante el programa ARSTAN este programa obtiene una cronología a partir de un conjunto de series de anillos sincronizados. Tiene dos objetivos: 1) remover las tendencias de crecimiento no climáticas relacionadas con la edad de los árboles y 2) Permitir que los valores padronizados de los árboles individuales, con diferentes tasas anuales de crecimiento del tronco, sean calculadas juntos en una función media.

El proceso de ajuste posee, la ventaja de corregir la heterogeneidad de la varianza de los datos en el ancho de los anillos de crecimiento, una vez que la desviación estándar de los índices deja de ser una función del promedio, como ocurría antes de la padronización. Con los datos padronizados (índices) se procedió a calcular 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 *Prosopis limensis* a través de la media robusta entre las series.

3.3 Caracterización macroscópica y microscópica del leño de los árboles de *Prosopis limensis* Benth.

3.3.1. Descripción macroscópica

Las muestras fueron cortadas orientadas en los tres planos: transversal, tangencial y radial; paso seguido se realizó el lijado manual con lija fina de 2000 se limpió la superficie y se realizó el análisis de la estructura anatómica con ayuda de una lupa de 10X de aumento. Se observó las características organolépticas como: grano, brillo, albura, duramen, sabor, olor, textura, poros, radios.

Fue realizado en base a las normas del COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) N° 30:1-19 de mayo de 1974: “Descripción de las características generales macroscópicas y microscópicas de la madera” y de la IAWA (Asociación Internacional de Anatomistas de Madera-Listado de caracteres anatómicos para la identificación de maderas duras, para estudiar la anatomía de la madera en angiospermas.

3.3.2. Descripción microscópica

Preparación y ablandamiento de los cubos.- Se cortaron cubos de 2cm x 2cm x 2cm del leño de los ocho (08) árboles de *Prosopis limensis* Benth., siguiendo la dirección del radio, fueron colocados en un vaso de precipitación con agua destilada y llevado a baño maría a 80°C por 14 días.

Corte histológico.- Una vez ablandados los cubos se procedió a realizar los cortes histológicos en los tres planos: transversal, tangencial, radial y con ayuda del micrótopo de deslizamiento horizontal, se obtuvieron láminas de 18 micras.

Deshidratado de láminas.- Paso seguido las láminas de 18 micras que se obtuvo, fueron deshidratadas en alcohol de 30°C, 60°C, 90°C dejando reposar por 20 minutos, en cada concentración de alcohol, excepto en el de 90°C que se utilizó por dos veces y por 20 minutos en cada cambio.

Coloreado de láminas.- A las muestras que fueron colocados en alcohol de 90°C se les agregó 8 gotas de safranina al uno por ciento y se dejó reposar por tres días.

Lavado de láminas coloreadas.- Pasado los tres días se procedió a lavar las láminas con alcohol de 90°C (dos veces) agitando en forma continua hasta lograr uniformidad en el color de las láminas.

Cortado de láminas.- Con ayuda de una pinza se trasladó las láminas a un recipiente de vidrio, para ser cortadas con una hoja de bisturí en cuadrados de 5x5 mm.

Fijado del colorante.- Para fijar el color y endurecer las láminas se sumergieron en xilol puro por 10-15 minutos.

Escuadrado Las láminas se escuadraron sobre un vidrio liso empleando un bisturí número 24.

Montaje.- La sección del tejido debidamente escuadrado se colocó sobre un porta objeto y se le agregó en la parte central una gota de bálsamo de Canadá, procediendo luego a la colocación del cubre objeto de 18 x 18 mm.

Secado de láminas.- Las láminas fueron secadas por tres días al aire libre y secadas a la estufa a 50°C por tres días, ya fuera de la estufa se dejó enfriar por tres días.

Limpieza y rotulado.- Se limpió las láminas utilizando una hoja de afeitar, posteriormente se rotularon colocándoles una etiqueta y se procedió a observar en el microscopio binocular

marca LEICA DME, con resolución 3.1 megapíxeles, con cámara fotográfica incorporada marca LEICA ES3, asimismo se observó a través del *Software (Image Application SUITE)* marca LEICA versión 3.00. (Figuras 15 y 16).

Para el tejido macerado de sub muestras se obtuvieron astillas de madera y colocadas en frasco de vidrio con una solución macerante de ácido acético más peróxido de hidrógeno, en una concentración de 1:1 cerrados y mantenidos en una estufa a 70°C por unas cinco horas. Posteriormente cuando las muestras estuvieron de color blanco se procedió a lavarlas con agua destilada cuatro veces y después se procedió usando el mismo método utilizado, en las otras láminas histológicas, hasta ser registradas y microfotografiadas, se usó un microscopio binocular marca LEICA DME, con resolución 3.1 megapíxeles, con cámara fotográfica incorporada marca LEICA ES3, y a través del *Software (Image Application SUITE)* marca LEICA versión 3.00.

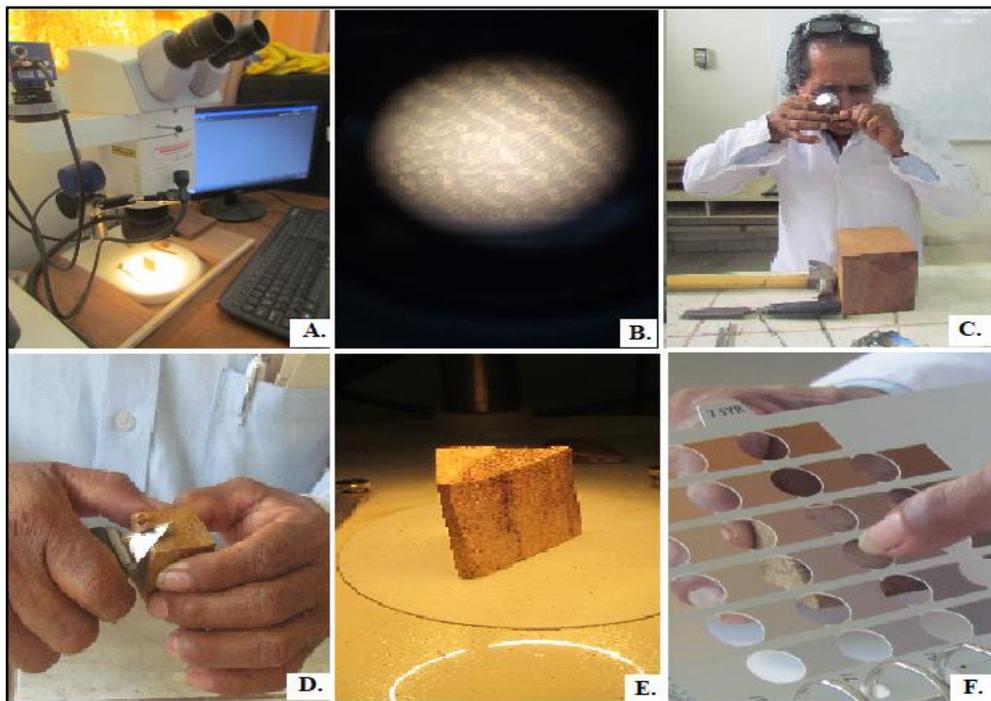


Figura 15. A. y B. Preparando material para captura de imagen del xilema; C., D. y E. preparando cubos para la caracterización microscópica, F. Evaluación del color de la madera, con el Sistema de Notación Munsell, usado en suelos, también permite determinar el color del xilema.

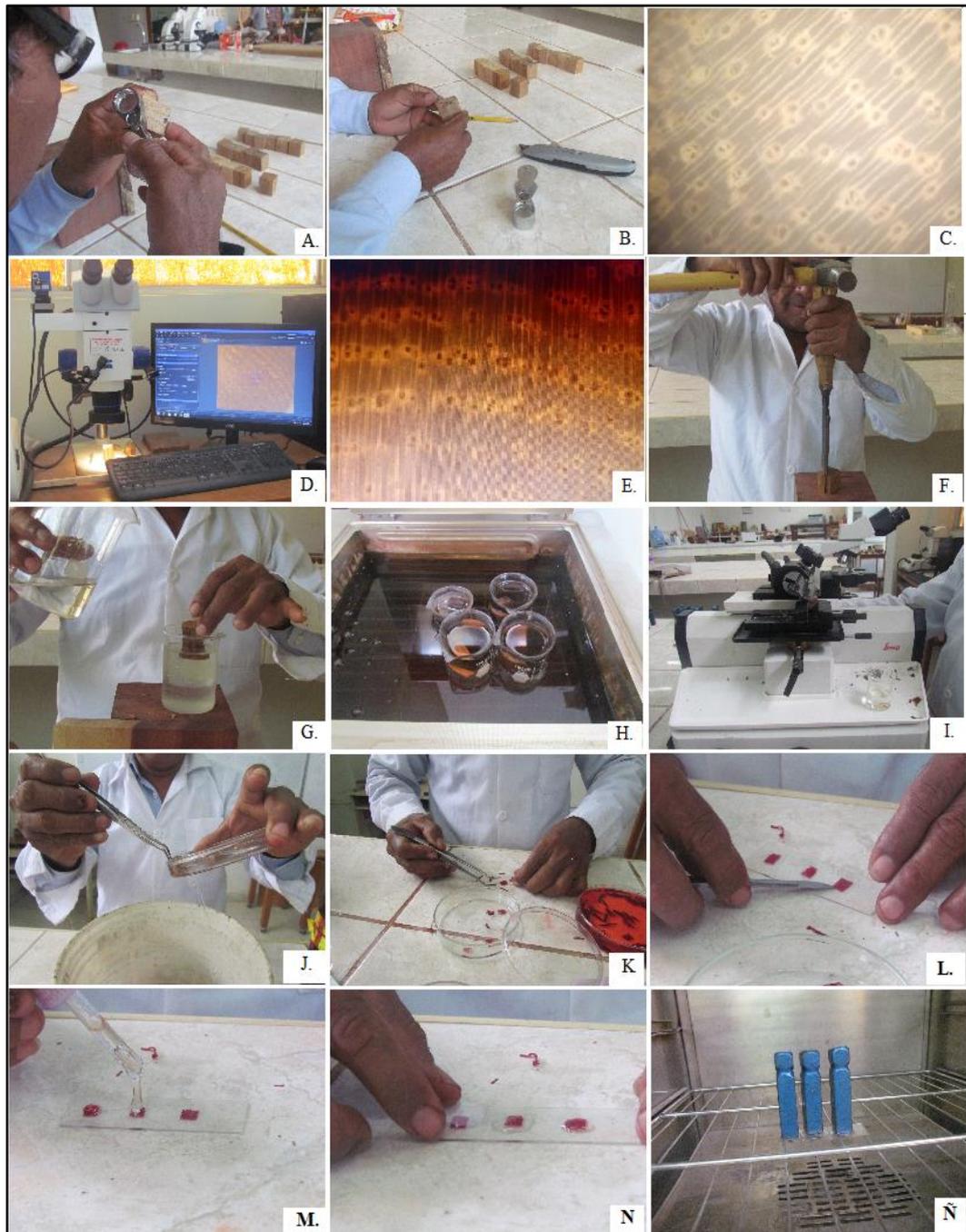


Figura 16. A. y B. Observación con lupa de elementos xilemáticos; C. Xilema a 10X, D. Captura de imagen del xilema en computador, con microscopio estereoscópico usando el *Software Image Application SUITE* versión 3.00; E. Vista con microscopio; F. Corte de cubos orientados por secciones; G. y H. Colocación de cubos en agua destilada para ablandamiento en baño maría I. Corte de láminas con micrótomo para caracterización microscópica; J. Deshidratación de láminas para su coloreado con safranina; K. Fijando la coloración de las láminas ya lavadas; L., M. y N. Fijando láminas coloreadas, en el porta objeto usando bálsamo de Canadá y cubriendo con cubre objetos; Ñ. Secado en estufa de las láminas fijadas.

3.4. Crecimiento en diámetro del fuste de los árboles de *Prosopis limensis* Benth.

Se procedió el estudio de crecimiento en diámetro de los troncos de los ocho árboles a partir de las variables: (a) incremento corriente anual en diámetro (ICAD), (b) incremento diametral acumulado (IDA), (c) incremento medio anual en diámetro (IMAD).

El incremento corriente anual en diámetro (ICAD) en el año “n” se obtuvo multiplicando por 2 el valor del ancho del anillo en el año “n”, fue utilizada la siguiente expresión:

$$ICAD_n = 2r_n$$

Dónde: $ICAD_n$ = Incremento corriente anual en diámetro al año n,

r_n = valor del ancho del anillo en el año n.

El incremento diametral acumulado-IDA fue obtenido por la suma de los valores de los anchos de los anillos de crecimiento de cada serie.

$$IDA_n = \sum_1^n ICAD$$

Dónde: IDA_n = incremento en diámetro acumulado hasta el año n, $\sum_1^n ICAD$ = sumatoria del ICAD desde el año 1 hasta el año n

El incremento medio anual en diámetro-IMAD fue obtenido dividiendo el incremento diamétrico acumulado por el número de años transcurridos:

$$IMAD_n = \frac{IDAC_n}{n}$$

Dónde: $IMAD_n$ = Incremento medio anual en diámetro en el año n, $IDAC_n$ = Incremento diametral acumulado hasta el año n, n = Año transcurrido o edad del árbol.

Como la tasas de crecimiento entre los radios de un mismo árbol es muy distinto se usó una media aritmética para establecerse la tasa de crecimiento de las muestras y por ende de los árboles de manera individual.

3.4.1. Modelos de crecimiento

Para describir el crecimiento de todos los árboles muestreados en función a la edad se seleccionó un modelo de crecimiento propuesto por Schumacher (1982), descritos por Campos y Leite (2002), para ello se ensayó cinco modelos adaptados al crecimiento acumulado de producción en diámetro propuestos por Schumacher, las variables utilizadas fueron el incremento corriente anual en diámetro, el incremento diametral acumulado y la edad del árbol.

El análisis estadístico de los modelos, así como la estadística descriptiva se realizó con el *Software estadístico "R"*, versión 2.12.1 del 18 de noviembre de 2017 (Figura 17).

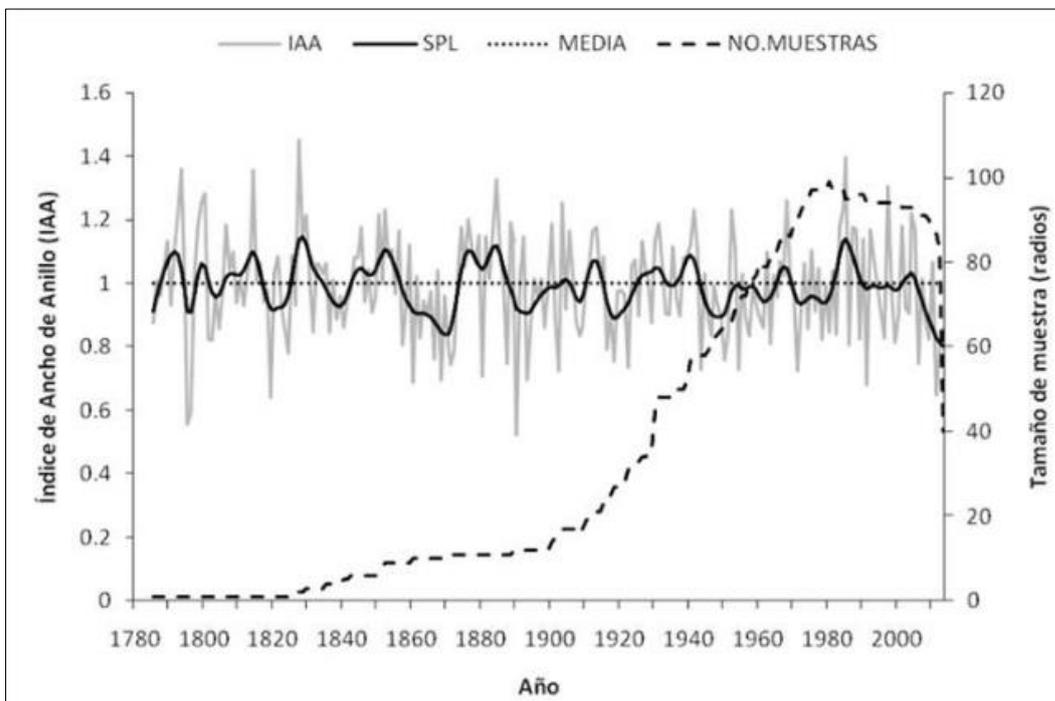


Figura 17. Aplicación del *Software estadístico "R"*, versión 2.12.1 para el análisis estadístico de los modelos, ensayados para *Prosopis limensis* Benth.

Los modelos ensayados son los siguientes:

$$cac_d = e^{a+b(1/i)} \cdot \partial \quad \text{Modelo1}$$

$$cac_d = e^{a+b \cdot i^{-c}} \cdot \partial \quad \text{Modelo2}$$

$$cac_d = a \cdot b^{(1/i)} \cdot \partial \quad \text{Modelo3}$$

$$cac_d = a.b^i .\hat{\delta}$$

Modelo4

$$cac_d = a.i^b .\hat{\delta}$$

Modelo5

Dónde: **cac_d**: Crecimiento acumulado en diámetro. **a, b, c**: Coeficientes del modelo. **i**: Edad de los árboles. $\hat{\delta}$: Error aleatorio.

Los criterios de selección del modelo de crecimiento fueron los siguientes:

- **Estimación del error de padrón residual,**

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$$

Dónde: **S_{yx}**: Error estándar residual. \hat{y} : Valor estimado por el modelo, **y_i**: Valor observado, **n**: número de observaciones. **p**: Número de parámetros.

Cuanto menor es el valor de **S_{yx}**, es mejor el modelo evaluado.

- **El criterio de información de Akaike (AIC).**

$$AIC = -2 \ln(mv) + 2p$$

Dónde: **mv**: Valor máximo de verosimilitud. **p**: Número de parámetros del modelo.

Cuanto menor es el valor del AIC mejor será el modelo.

- **El coeficiente de variación.**

$$CV = 100(S_{xy}) / \bar{y}$$

Dónde:

CV = coeficiente de variación.

S_{xy} = error o padrón residual.

\bar{y} = media de la muestra.

Cuanto menor sea el valor, mejor será el modelo.

Según Ribeiro (2010), el uso de estos estadísticos utilizados es de gran relevancia cuando se trata de análisis de regresión por que penaliza modelos con gran número de parámetros escogiendo modelos más adecuados.

La selección del modelo matemático no lineal óptimo para simulación de crecimiento para *Prosopis Limensis* se hizo a través de la estimación de los parámetros del modelo matemático mediante el procedimiento NLIN del Sistema de Análisis Estadístico (SAS) SAS® University Edition versión 9.3. Se procedió a calcular su primera derivada para obtener la función del incremento corriente anual. Ahora dividiendo la función de crecimiento con la edad se consiguió obtener la función del incremento medio anual en diámetro.

3.4.2. Determinación de Incrementos.

A partir del modelo seleccionado Schumacher-2, se calcularon las expresiones del crecimiento acumulado en diámetro-CAC, del incremento corriente anual-ICA e incremento medio anual-IMA.

Obteniéndose las siguientes expresiones:

- a) El crecimiento acumulado en diámetro está dado por:

$$cac_d = e^{a+b.i^{-c}} . \hat{\delta}$$

En donde: cac_d =Crecimiento acumulado en diámetro del árbol, e =Exponencial, a, b, c =Coeficientes del modelo, i = edad del árbol. $\hat{\delta}$ =Error aleatorio.

- b) El incremento corriente anual en diámetro está dada por:

$$ica_d = c.b.i^{-(c+1)} . e^{a+b.i^{-c}} . \hat{\delta}$$

En donde: ica_d = Incremento corriente anual del árbol, e =Exponencial, a, b, c =Coeficientes del modelo, i = edad del árbol. $\hat{\delta}$ = Error aleatorio.

c) El Incremento medio anual está dada por

$$ima_d = \frac{e^{a+b.i^{-c}} \cdot \hat{\delta}}{i}$$

En donde: ima_d = Incremento medio anual en diámetro del árbol, e =Exponencial, a , b , c =Coeficientes del modelo, i = edad del árbol. $\hat{\delta}$ =Error aleatorio.

3.4.3. Determinación de la edad técnica y edad mínima de corte

Además de todos los cálculos estadísticos para evaluar la funcionalidad del modelo, se realizó un análisis gráfico para analizar su ajuste en el comportamiento del crecimiento de los árboles.

Con la curva obtenida para la muestra completa fue obtenida una estimación de la edad técnica de corte y la edad mínima de corte teniendo en cuenta el diámetro mínimo de corta de 30 cm. fijado mediante la Resolución Jefatural N° 458-2002-INRENA, actualmente considerado por la Ley Forestal y de Fauna Silvestre 29763.

Para el cálculo de la edad técnica de corta existe dos métodos tal como señala Campos y Leite (2006): (a) Hallando la primera derivada de la función incremento medio anual en diámetro-IMAD, igualando a cero y despejando la edad, (b) Igualando las funciones incremento corriente anual en diámetro-ICAD con la función del incremento medio anual en diámetro-IMAD para luego despejar la edad. El segundo método se utilizó para nuestro cálculo de la edad técnica de corte.

Para calcular la edad mínima de corta se utilizó el modelo seleccionado de Schumacher 2 y se consideró como variable independiente el diámetro mínimo de corta-DMC establecido por la legislación Forestal y de Fauna Silvestre que es 30 cm, este valor se consideró como variable respuesta en el modelo de crecimiento y se despejo la edad.

3.5. Respuesta del crecimiento de los árboles *Prosopis limensis* Benth., debido al clima

Para describir la relación existente entre clima y crecimiento de los árboles de la especie estudiada, las cronologías medias obtenidas con el programa ARSTAN fueron comparadas con las series climáticas determinando la variable que más influenció (precipitación o temperatura) en el ancho de los anillos y consecuentemente en el crecimiento de los árboles.

Este método corresponde a las funciones de respuesta, son ampliamente utilizadas en dendroclimatología (Frits, 1976). 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.

El *Software* RESPO, Versión Alfa (Holmes, 1994), transforma los parámetros climáticos en componentes principales, para realizar una regresión en donde la cronología de los árboles son variables dependientes y los parámetros climáticos son variables independientes. El resultado es una función de respuesta para cada cronología que expresa la relación independiente entre el crecimiento de los árboles y el clima.

Para la obtención de la respuesta climática en el crecimiento en diámetro del tronco de los árboles de *Prosopis limensis*, se utilizaron los datos de la información Meteorológica de la Estación Ferreñafe de la Región Lambayeque desde 1948 hasta 2010 (Anexo 9). Para el análisis de correlación entre la cronología de esta especie y el clima, se tomó en cuenta los datos de temperatura media anual y precipitación total anual. Se probó diferentes escenarios con el programa RESPO al inicio de crecimiento, inicio de época de lluvias considerando al mes de agosto, y fin de época de lluvias considerando al mes de mayo, seleccionando el primer escenario por describir mejor la relación del crecimiento con el clima. Los datos faltantes de precipitación del año 1962 y del año 2006, se completaron con el método de extrapolación, es uno de los más utilizados en aquellos casos en que no existen datos de comparación y por tanto, la serie tiene que servir de referencia para el relleno de datos faltantes de sí misma. Sin embargo, para el caso de la temperatura se tuvo la información completa, inclusive la mínima y la máxima, considerando información del fenómeno del El Niño y La Niña. El Niño está relacionado con la regeneración del algarrobo, pero aparentemente no con el crecimiento de los árboles. El Niño Oscilación Sur, es uno de los eventos más monitoreados por muchos científicos en el Perú. (SENAMHI 2002 y 2007)

La estación de donde se obtuvo los datos de clima (Precipitación y temperatura) fue la Estación Meteorológica de Ferreñafe, Código-SENAHMI: CO-331, Región Lambayeque, localizada a una Latitud de 06°38'S, Longitud: 79°48'W y una altitud de 37 m.s.n.m.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización y definición de los anillos de crecimiento de *Prosopis limensis* Benth.

Los anillos de crecimiento en *Prosopis limensis* Benth., están demarcados por el parénquima marginal, que se presenta como una línea fina continua cuando corresponde a la parte de la albura; mientras que en la parte del duramen, los anillos de crecimiento se pueden identificar y delimitar, partiendo de la albura, donde debe incluirse otro tipo de elementos, las fibras, evidentes en esa zona del tronco del árbol, mucho más densa, sin que sean tan evidentes los poros, esta delimitación se debe observar con mucho cuidado, porque puede conducir a errores en quien no tiene experiencia práctica suficiente, pues el duramen de esta especie, tiene un color oscuro y las fibras son indudablemente oscuras más intensas, haciendo por ello, complicado todo el proceso de caracterización, pero no difícil. Siempre el mejor aliado para la definición de los anillos de crecimiento, es el parénquima marginal. Es cierto que los individuos de esta especie presentan una alta variabilidad en la definición, de los anillos esta se ve incrementada si la misma especie procede de diferentes sitios, también, se debe tomar en cuenta la forma del fuste, que es en extremo diferente de un individuo a otro, aun estando cercanos. Todo esto nos indica la enorme variabilidad que refleja la especie, sin considerar los tipos de asociaciones que se presentan en el ecosistema algarrobal, dentro de los bosques estacionalmente secos ecuatoriales (Marcelo *et al.*, 2010). Por ello, es muy probable la existencia de una gran plasticidad y adaptabilidad del *Prosopis limensis* (Giménez *et al.*, 2000; Bolzon, *et al.*, 2010; Ortiz *et al.*, 2018). Es interesante el trabajo de Postillón (2011) en el que indica para *Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl., ex Willd.) Kunthel procedente de Tumbes, la abrupta diferencia entre albura y duramen, y que los límites entre los anillos de crecimiento son regularmente definidos.

Para la descripción de la especie del género *Prosopis*, en diferentes ambientes, de este grupo taxonómico, los anillos de crecimiento se definen también, por arreglos de los elementos xilemáticos que resultan de la sola ocurrencia, o la combinación, de diversos patrones, como la presencia de vasos de mayor tamaño en el xilema temprano, la ocurrencia de porosidad semicircular a circular y la existencia de bandas de tejido parenquimático terminal o marginal.

Existen especies con anillos visibles, de acuerdo a la actividad cambial y el datado o fechado de árboles, de edad conocida, permiten establecer el carácter anual de los anillos de crecimiento. Sin embargo el material estudiado del Santuario Histórico Bosque de Pómac nos indica que esta especie, en particular, es importante para la determinación del potencial de incrementos volumétricos, es importante también para el manejo forestal, además de ser fuente de información sobre las fluctuaciones pasadas del clima, la ecología de las masas boscosas y las actividades de las poblaciones humanas que habitaron en regiones áridas y semiáridas, cuna de culturas pre incas del Perú y de todo Latinoamérica (Villalba, 2000; Ortiz, 2010) (figura 18)

En un análisis más detallado, cerca de la médula es mucho más difícil la observación de los anillos de crecimiento; asimismo la zona intermediaria (Zona entre albura y médula en el corte transversal) que ameritó mayor observación, pero los dos tipos de delimitación, una en la parte de la albura y la otra en el duramen, para identificar y delimitar los anillos de crecimiento, mostraron que, mientras está más cerca de la corteza la coloración es más clara, porque predomina la albura, que presenta un parénquima marginal mejor definido y delimitado, que hizo más fácil la caracterización, respecto a lo observado en el duramen. Finalmente, la utilización de los discos del tronco, hizo mucho más fácil, visualizando y marcando, superando así la evaluación de las zonas complejas, lográndose observar la continuidad de las secciones marcadas y contar los anillos de crecimiento de *P. limensis*. Comparando con otras, especies como *Prosopis vinalillo* Stuck., los anillos de crecimiento son poco visibles a simple vista, sólo visibles con lupa de 10X, especificados por la acumulación de poros, con mayor diámetro, cerca del anillo y por la presencia evidente de un parénquima marginal. Respecto a *Prosopis alba* Griseb., si son visibles; el límite de los anillos de crecimiento es evidenciado por la formación de anillos continuos de parénquima axial marginal e igualmente, por la presencia de poros de mayor diámetro concentrados en los límites de cada anillo (Bolzón, 2010), concordando con el estudio de Giménez et al. (1998). En *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron., mostró evidentes poros de mayor diámetro, agrupados por bandas marginales, existiendo reducción del diámetro radial de las fibras al término del anillo y formación de parénquima marginal, igual a lo que encontró Giménez et al. (2,000).

En nuestro estudio también se ha podido ver, que se podría asemejar a lo indicado por Ortiz (2018), para el algarrobo *Prosopis sp.*, que forma anillos falsos y anillos ausentes; no obstante, Williams (2008) indica que para *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., que los anillos de crecimiento

no están definidos, cuando a ciencia cierta, para esta especie, los anillos de crecimiento si son evidentes como lo indican varios autores, delimitado por su parénquima marginal, la agrupación de poros de mayor diámetro y la presencia de fibras al termino del anillo de crecimiento (Villalba, 2000; Bolzon, 2010).

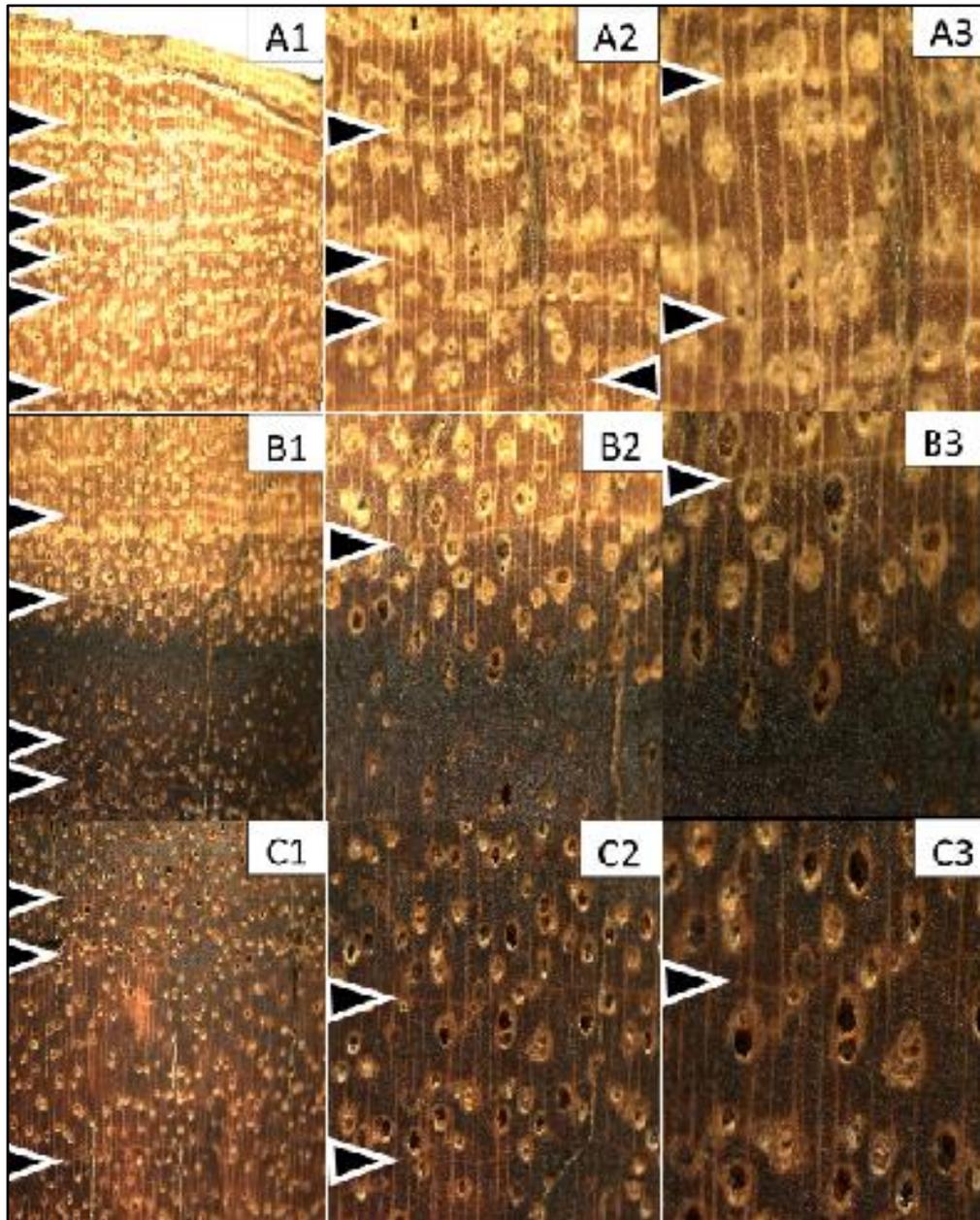


Figura 18. Definición de los anillos de crecimiento de *Prosopis limensis* Benth.: A. B. C. Corte transversal del leño mostrando los anillos de crecimiento; A. de la albura; B. de albura y duramen; C. de duramen. Las flechas indican el límite de los anillos. A1, B1, C1 (8X), A2, B2, C2 (20X) y A3, B3, C3 (35X)

4.2. Anualidad en la formación de los anillos de crecimiento en *Prosopis Limensis* Benth., para determinar la edad de los árboles en el Santuario Histórico Bosque de Pómac

En la tabla 3 podemos observar que la edad de los árboles evaluados presenta un promedio aproximado de 77,13 años, siendo el valor mínimo de 47 años y el máximo de 106 años; asimismo para el caso de los diámetros alcanzados se encontró el valor mínimo de 24,835 cm y el máximo de 72,000 cm. con esto se comprueba que la especie *Prosopis limensis* Benth., “algarrobo” del Santuario Histórico Bosque de Pómac Lambayeque presenta individuos, con radios y/o diámetros muy irregulares en cuanto a sus incrementos, puesto que árbol de mayor edad 106 años, alcanzó un diámetro de 25,09 cm y el de menor edad 47 años un diámetro de 43,98 cm, en tal sentido la edad de la especie *Prosopis limensis* Benth., en el Santuario Histórico “Bosque de Pómac” son bastantes irregulares en su incremento medio anual. Es necesario aclarar que no existen árboles que llegan a los 1000 años de edad, apenas el límite es de 106 años aproximadamente, consecuencia de la regeneración periódica que se reincorpora al algarrobal periódicamente entre 5 y 25 años, cuando existe el Niño Southern Oscillation ENSO (Marcelo, 2010).

Tabla 3. Edad de los árboles estudiados con secciones/diámetros corregidos

Árbol	Edad del árbol (años)	Radio Evaluado (cm)	Diámetro Evaluado (cm)
1	47	21.943	43.887
2	106	12.543	25.087
3	104	20.337	40.673
4	59	36.000	72.000
5	75	12.418	24.835
6	78	13.968	27.935
7	64	13.045	26.090
8	84	23.170	46.340
PROMEDIO	77.13	19.178	38.356
MÍNIMO	47	12.418	24.835
MÁXIMO	106	36.000	72.000

Fuente: Datos de la matriz procesada de árboles evaluados Anexos

En la tabla 3 se presenta los promedios de los radios o series medidos en cada muestra. Se tomó las medidas de los radios para conocer el ancho de los anillos por serie o radio por árbol, para relacionar series cronológicas y edad por ancho de anillos durante la sincronización.

Árbol N° 1 = 3 radios = promedio de los 3 radios= 21.943

Árbol N° 2 = 3 radios = promedio de los 3 radios= 12.543

Árbol N° 3 = 3 radios = promedio de los 3 radios= 20.337

Árbol N° 4 = 4 radios= promedio de los 4 radios= 36.000

Árbol N° 5 = 4 radios= promedio de los 4 radios= 12.418

Árbol N° 6 = 4 radios = promedio de los 4 radios= 13.968

Árbol N° 7 = 4 radios = promedio de los 4 radios= 13.045

Árbol N° 8 = 3 radios = promedio de los 3 radios= 23.170

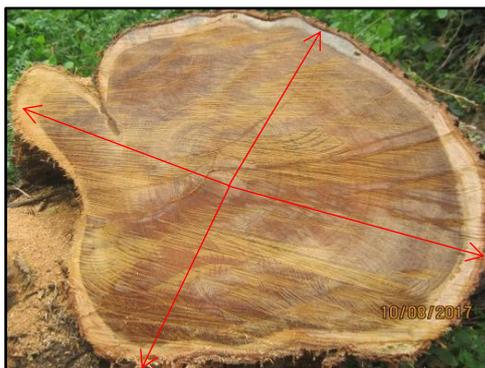


Figura 19. Esquema del trazado: cuatro radios o series para conocer el ancho de los anillos.

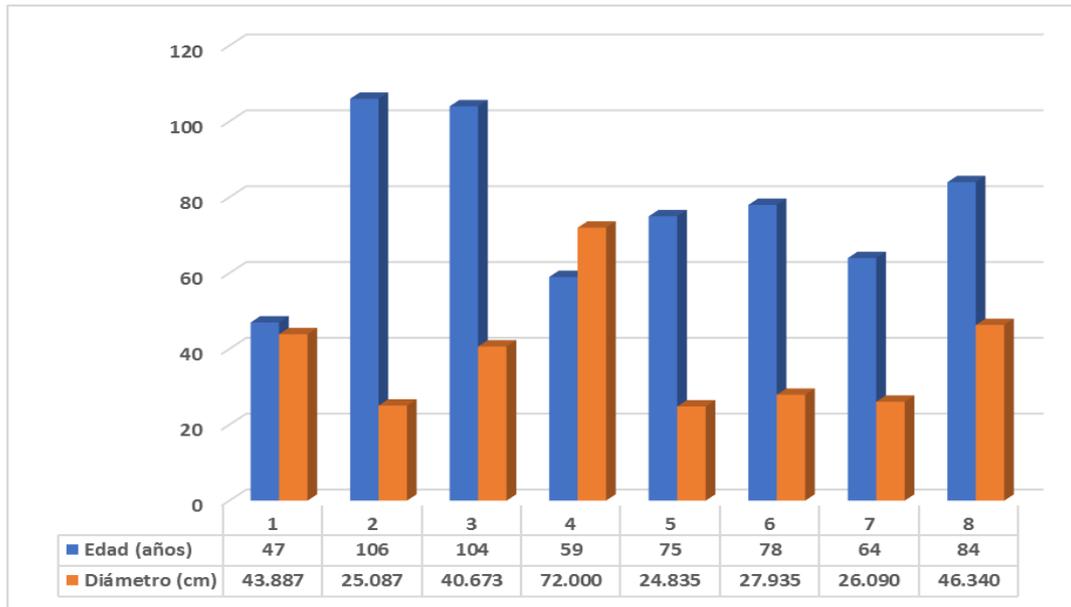


Figura 20. Correlación de diámetro de los árboles seleccionados versus edad

Respecto a la formación de los anillos de crecimiento de forma anual, si fueron evidentes; no obstante, debido a las características inestables del clima, como se indicó; algunos anillos de crecimiento se comprobaron que eran falsos.

Aparte, se comprobó a simple vista y se corroboró contando los anillos de las secciones definidas de cada disco de los ocho individuos evaluados que no había una correlación en los incrementos del ancho de los anillos en cada sección de cada disco de los árboles, dada las características morfológicas del árbol al parecer influenciada por la napa freática en el que se desarrolla cada individuo, por ello es necesario considerar en próximos estudios la humedad y fertilidad del suelo (tabla 3; y figuras 15, 16, 18,).

La evaluación de cada individuo no fue muy fácil, dado que el número de anillos de crecimiento varía en cada individuo y aún entre las secciones de los fustes del mismo individuo. Esta enorme variabilidad refleja, muy probablemente, una gran plasticidad y adaptabilidad a diferentes tipos de sitio que tiene que ver con el nivel de la napa freática existente en el lugar principalmente.

En *Prosopis limensis* los anillos son visibles, situación que ayudó a verificar la actividad cambial y el datado de árboles para determinar su edad que ha permitido establecer el carácter anual de los anillos de crecimiento, por ello podemos afirmar que el leño de esta especie tiene

un alto potencial como fuente de información sobre las variaciones climáticas pasadas, cambio de la ecología de los ecosistemas de bosque seco y determinar las actividades antrópicas de las poblaciones que habitaron en épocas pasadas esta región árida del Perú (Morales *et al.*, 2001; Villalba y Boninsegna, 1989; Villalba *et al.*, 2000).

4.3. Crecimiento diamétrico de *Prosopis limensis* Benth., en función del análisis Dendrocronológico

En la tabla 4 y en las figuras 21 y 22 podemos observar dos tipos de fórmulas de incrementos de diámetros de los árboles de *Prosopis limensis* según la edad, de los ocho árboles seleccionados, donde se muestran que presentan un comportamiento variable, los que más resaltamos el árbol 4 con 59 años de edad, alcanzó un incremento de diámetro acumulado (IDA) de 72 cm y un incremento medio anual (IMA) de 0,489 cm/año; que comparado con el árbol 2 de 106 años tuvo un IDA de 25,087 cm, que corresponde a un IMA de 0,237 cm/año.

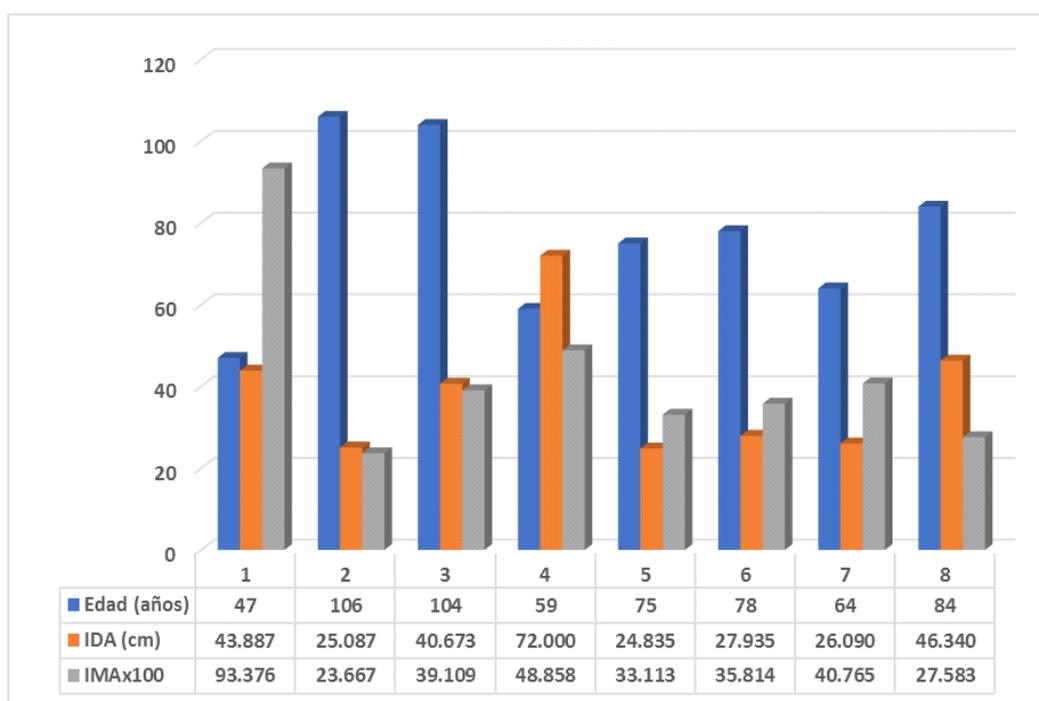


Figura 21. Relación del incremento diamétrico acumulado-IDA, incremento medio anual - IMA y la edad de los árboles seleccionados (IMAx100) (Fuente: Datos de la matriz procesada de árboles evaluados Anexo 4 al 8).

Tabla 4. Tipos de incrementos diamétricos de árboles de *Prosopis limensis* Benth., en relación de la edad

Árbol	Edad (años)	Incrementos diamétricos		IMAx100 ³
		IDA ¹ (cm)	IMA ² (cm/año)	
1	47	43.887	0.934	93.376
2	106	25.087	0.237	23.667
3	104	40.673	0.391	39.109
4	59	72.000	0.489	48.858
5	75	24.835	0.331	33.113
6	78	27.935	0.358	35.814
7	64	26.090	0.408	40.765
8	84	46.340	0.276	27.583
MEDIA	77.13	38.356	0.428	42.786

1. Incremento diamétrico acumulado, 2. Incremento medio anual, 3. Incremento medio anual x 100.

Fuente: Datos de la matriz procesada de Árboles Evaluados Anexo 4 al 8

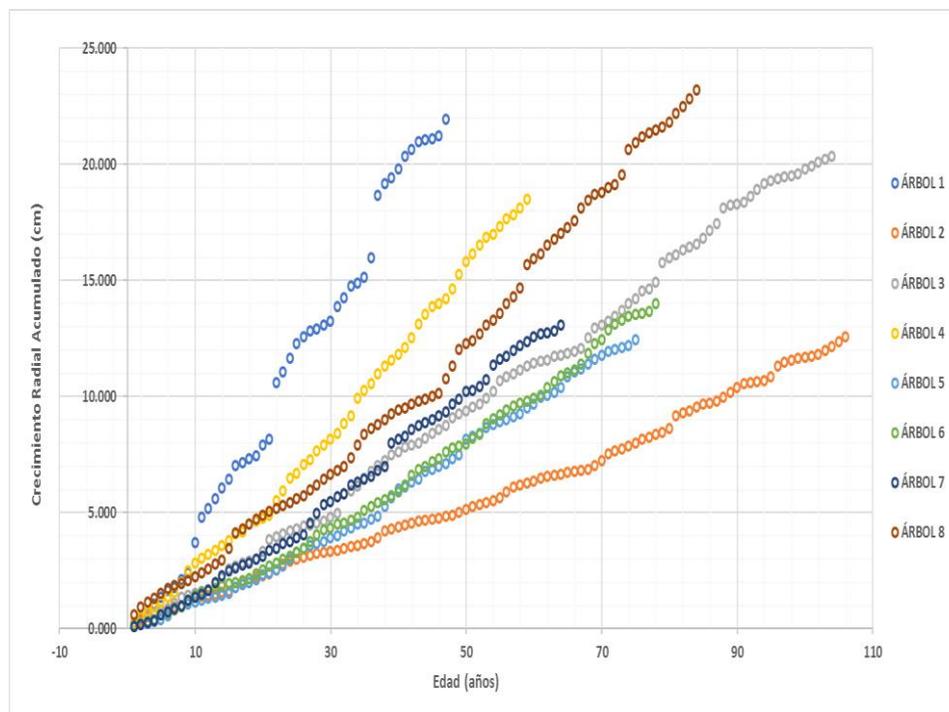


Figura 22. Crecimiento Radial Acumulado de las ocho muestras seleccionadas en relación a la edad alcanzada.

Fuente: Datos de la matriz procesada de árboles evaluados Anexos 4 al 8.

4.3.1. Selección del modelo óptimo de crecimiento para *Prosopis limensis* Benth.

En la tabla 5 se puede apreciar cinco variantes de modelos matemáticos para simulación de crecimiento, cuatro de ellos desarrollados por Schumacher (1982) y uno desarrollado por Weibull (López & Valles, 2009). Para analizar las curvas de crecimiento en diámetro de *Prosopis limensis*, que deben ser sometidos de acuerdo a (Ramirez, Arizapana, & Tomazello, 2014) al Criterio de información de Akaike-AIC (Darlington 1968, Judge *et al.*, 1985), estadística R-cuadrado ajustada-ADJRSQ (Darlington 1968, Judge *et al.*, 1985) Criterio de información bayesiano de Schwarz-SBC (Schwarz 1978; Judge *et al.*, 1985) y Raíz del Error Cuadrado Medio-RMSE (Root Mean Square Errors) o Error Estándar de la Estimación utilizado por (Da Cunha & Guimarães, 2009) tal como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 5. Modelos matemáticos no lineales evaluados para predecir crecimiento en *Prosopis limensis* Benth.

Modelo	Forma de la ecuación
01 Schumacher_1	$C_{acum} = e^{a+b(1/i)}$
02 Schumacher_2	$C_{acum} = e^{a+b(i^{-c})}$
03 Schumacher_3	$C_{acum} = a \cdot b^i$
04 Schumacher_4	$C_{acum} = a \cdot i^b$
05 Weibull	$C_{acum} = a \cdot e^{(-b \cdot i \cdot c^2)}$

C_{acum} : Crecimiento acumulado, a, b, c : Constantes del modelo, i: Edad del árbol (años)

Los cinco modelos propuestos para evaluar la predicción del crecimiento en *Prosopis limensis* Benth., fueron seleccionados en base a otras investigaciones realizadas, los cuales han mostrado una estimación satisfactoria, como por ejemplo Aguilar y Aguilar (1991), Benavides (1991), Valles (1994), Quiñones (1995) y Monroy (1996).

4.3.2. Estimación de los parámetros del modelo matemático

En la tabla 6 se presenta los parámetros de ajuste para los 5 modelos no lineales seleccionados, estos modelos fueron encontrados mediante el procedimiento NLIN del Sistema de Análisis Estadístico (SAS) SAS® University Edition versión 9.3, también se presenta los criterios de selección utilizados para la elección del mejor modelo.

Tabla 6. Coeficientes de variación de los parámetros en el ajuste y criterios de selección de cinco modelos no lineales en *Prosopis limensis* Benth.

Modelo	a	B	c	R^2 adj.	AIC	SBC
01 Schumacher_1	3.0442	-34.2017	-	0.6367	2124.34	1514.19
02 Schumacher_2	3.8439	-10.4398	0.4924	0.6406	2117.67	1507.52
03 Schumacher_3	3.8251	1.0162	-	0.5372	2273.69	1663.54
04 Schumacher_4	0.4193	0.8034	-	0.6318	2132.67	1522.52
05 Weibull	3.8251	-0.0160	1.0000	0.5372	2273.69	1663.54

Fuente: Reporte del procesamiento de datos del Anexo con el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3

Dónde:

a, b, c = Parámetros estimados del modelo

R^2 adj. = Estadística R - cuadrado ajustado

AIC = Criterio de información de Akaike

SBC = Criterio de información bayesiano de Schwarz

El Criterio de Akaike toma en cuenta los cambios en la bondad de ajuste y en las diferencias en el número de parámetros entre dos modelos penalizando el exceso de parámetros ajustados. El mejor modelo es aquel con el menor valor de AIC (Caballero, 2011). En el cuadro anterior se puede verificar que el mejor valor es ofrecido por el *Modelo tipo 2 de Schumacher*, por el contrario, los modelos 3 y 5 ofrecen los peores resultados según el criterio AIC, el mismo comportamiento se puede verificar para el Criterio de información bayesiano de Schwarz-SBC y para el caso de la Estadística R-cuadrado ajustada o Coeficiente de Determinación Ajustada, ésta última fue seleccionada como criterio de selección a diferencia del R^2 para cumplir con modelos de diferente número de coeficientes de regresión y el comportamiento no lineal de variable dependiente según Da Cunha & Guimarães, (2009) para este criterio del mejor modelo es el que ofrece el mayor valor o más próximo a 1, lo que nuevamente corrobora la hipótesis de que el mejor modelo es el Modelo tipo 2 de Schumacher.

4.3.3. Análisis de varianza en la selección del modelo

En la Tabla 7 se presenta lo obtenido en relación al grado de ajuste de los tres modelos no lineales mediante el coeficiente de determinación R^2 . Estos modelos fueron ajustados mediante el procedimiento NLIN del Sistema de Análisis Estadístico (SAS) a través del Método DUD. De acuerdo a la prueba de bondad de ajuste para los modelos y los valores

indicados anteriormente, se asume un grado de variabilidad no muy eficiente con valores de $R^2 = 0,6373, 0,6412$ y $0,6324$, correspondiendo el mayor valor para el Modelo tipo 2 de Schumacher, el cual explica que se encontró un 64,12 por ciento de variación en el crecimiento radial, sin embargo López & Valles (2009) recomiendan también juzgar la exactitud de los modelos, con base a la eficiencia de los estimadores CME y prueba de F.

Tabla 7. Estadísticas relevantes del análisis de varianza para los tres modelos no lineales de crecimiento para *Prosopis limensis* Benth.

Modelo	R^2	CME	%CV	F
01 Schumacher_1	0.6373	11.4335	42.33	1080.62
02 Schumacher_2	0.6412	11.3327	42.10	1523.51
03 Schumacher_3	0.5380	14.5649	47.78	716.08
04 Schumacher_4	0.6324	11.5889	42.62	1057.89
05 Weibull	0.5380	14.5648	47.78	716.08

Fuente: Reporte del procesamiento de datos del Anexo con el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3

Dónde:

R^2 = Coeficiente de determinación

CME = Cuadrado medio del Error

%CV = Coeficiente de variación

F = Valor de F de la distribución de Snedecor

Se aprecia una diferencia marcada en la varianza en dichos modelos, mostrando la menor del Modelo tipo 2 de Schumacher con un Error Cuadrado Medio CME = 11,3327 seguido por el Modelo tipo 1 de Schumacher, CME = 11,4335 y por último los modelos de Weibull con CME = 14,5648 y Modelo tipo 3 de Schumacher con CME = 14,5649. Sin embargo, al analizar los valores de “F” de la distribución de Snedecor, se observa que no corresponden al comportamiento anterior, lo que se puede deber a la eficiencia de los propios modelos, dado que se encontró una dificultad muy fuerte para su convergencia en los trabajos de ajuste matemático lo que se verifica con el número de interacciones necesarias para alcanzar la convergencia. Respecto al Coeficiente de Variación se observa que el mejor valor (valor más bajo) lo presenta el Modelo tipo 2 de Schumacher con un CV= 42,10 por ciento y los peores valores los presentan el Weibull y Modelo tipo 3 de Schumacher con un valor de 47,78.

De manera concluyente por las razones expuestas en los párrafos precedentes el Análisis de Varianza y los Criterios de Selección utilizados indican que el mejor modelo para el predecir el crecimiento de la *Prosopis limensis* Benth., viene dado por el Modelo tipo 2 de Schumacher para determinar la curva crecimiento, de dicha especie, Modelo Seleccionado, la cual se describe con la siguiente expresión matemática:

$$C_{acum} = e^{3.8439 - 10.4398(i^{-0.4924})}$$

Dónde:

C_{acum} : Crecimiento radial acumulado (cm)

i : Edad del árbol (años)

En función al modelo de crecimiento radial acumulado de *Prosopis limensis* Benth., se elaboró, la estimación del crecimiento con el Modelo tipo 2 de Schumacher. Observar en la figura 23.

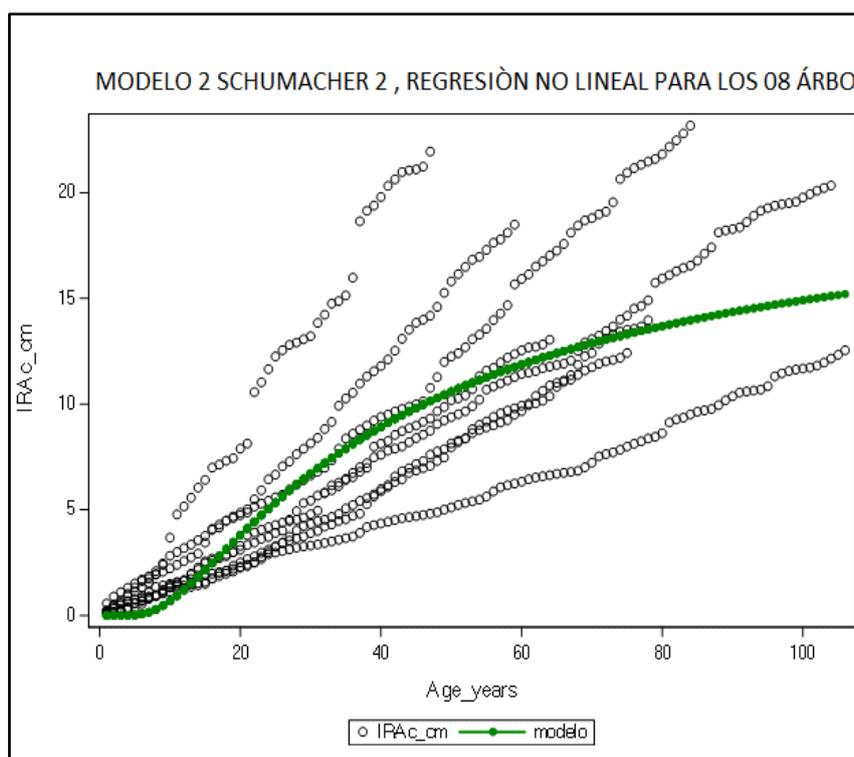


Figura 23. Curva de crecimiento de los ocho árboles de *Prosopis limensis* Benth., obtenido a partir del modelo seleccionado tipo 2 de Schumacher. Fuente: Reporte del procesamiento de datos del Anexo con el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3

4.3.4. Edad mínima de corte-EMC, considerando diámetro mínimo de corte.

La edad mínima de corte (EMC) debe servir para planificar la reposición de los bosques en las áreas de amortiguamiento del Santuario Histórico Bosque de Pómac, si fuera el caso en áreas degradadas por los incendios forestales, y deforestación que pueden ocurrir en la zona.

La edad mínima de corte del árbol de acuerdo a Manta (1988) está referida a la edad en la cual un árbol llega a tener el diámetro mínimo en que se le debe cortar (DMC). Este varía según el producto que se quiera obtener, teniendo en consideración las características tecnológicas de la madera (turno técnico), la capacidad de generar descendencia fértil (turno silvicultural) y el mercado.

Según el DMC establecido por la Legislación Forestal y de Fauna Silvestre-Ley 29763, promulgado el 22 de Julio de 2011, el DMC para *Prosopis limensis* es 30 centímetros. Es decir, debe transcurrir 82 años para alcanzar el DMC. En el caso del DMC utilizado en la práctica por los pobladores locales es 70 cm. el cual se alcanzaría a los 124 años. En ese sentido, los árboles de *Prosopis limensis* Benth., que alcanzan diámetros de 30 cm. y 70 cm. germinaron hace aproximadamente 82 años y 124 años respectivamente. Estos resultados deben ser tomados en cuenta en la implementación de actividades silviculturales tendientes a estimular el crecimiento de la regeneración y el establecimiento definitivo.

Por otra parte., es importante destacar que de acuerdo a Manta (1988), el tiempo que demora el árbol para obtener el turno silvicultural está en función al temperamento ecológico (especies R y especies K); mientras según Valerio y Salas (1998), el comportamiento intrínseco de la especie y su capacidad para aprovechar los recursos disponibles (nutrientes) y el sitio, son factores que influyen en el DMC. Así explicamos la variación del crecimiento diamétrico y la edad de los árboles, como el caso de *Cedrelinga cateaniformes*, árbol comercial de tipo heliófita parcial, tarda aproximadamente 65 años para obtener un diámetro de 50 cm. y *Peltogyne heterophylla* puede alcanzar el DMC de 55 cm. en 135 años en la Amazonía boliviana (Brienen, 2003). En Manaus - Brasil, Mozetto *et al.*, (1988), estudios con radiocarbono (^{14}C), demostraron que un árbol de *Hymenaea courbaril* L. para que pueda alcanzar un diámetro de 64 cm. demora 512 años. Mientras, los individuos de *Prumnopitys harmsiana* (Pilg.) de Laub. y *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) demoraron 121 y 109 años respectivamente para alcanzar un diámetro de 41 cm. en los bosques de Cajamarca (Becerra (2010).

De manera que al analizar el crecimiento a nivel de individuos de una misma especie y en diferentes lugares se debe considerar que el crecimiento está influenciado por factores genéticos, ambientales y silvícolas. Entre los aspectos ambientales podemos señalar las características del suelo, disponibilidad de nutrientes, precipitación; asimismo, los aspectos genéticos son las características inherentes cada uno de los individuos y los aspectos silvícolas son lo relacionado con los tratamientos silviculturales (posición vertical y horizontal) y los requerimientos ecológicos de la especie. En ese sentido comparar ritmos de crecimientos sin la información de suelo, clima y otros no sería conveniente.

La edad mínima de corte está referida al momento en que la especie alcanza el diámetro mínimo de corte técnico; en este caso es 30 cm. de acuerdo a Ley Forestal y de Fauna Silvestre-Ley 29763 y su reglamento. En la figura 24, utilizado como indicador el radio de 15 cm. la edad mínima de corte es 91 años.

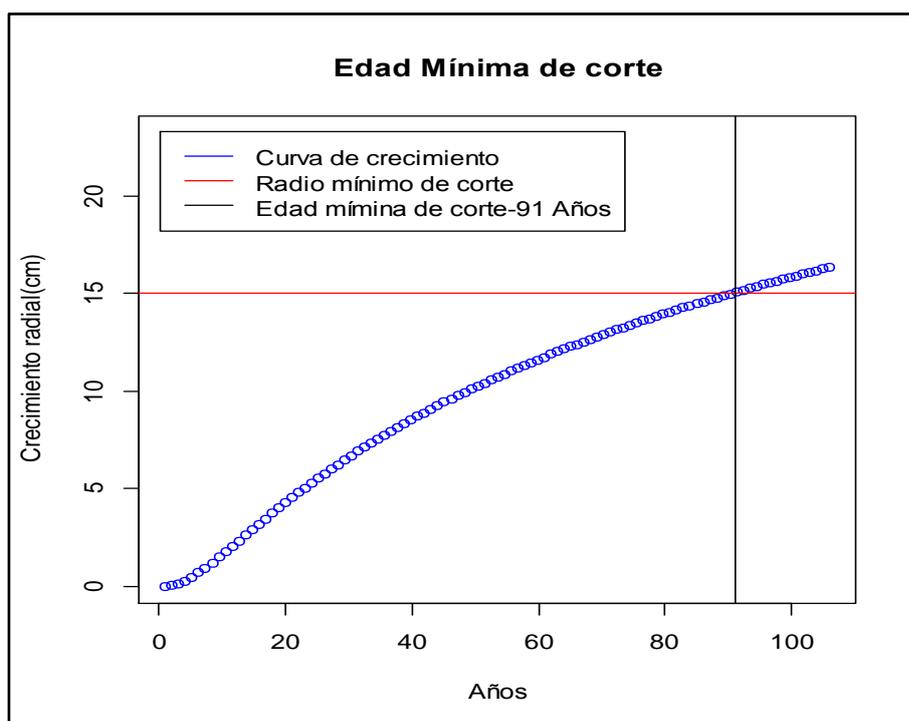


Figura 24. Curva de determinación de la edad mínima de corte.

Para calcular la edad técnica de corte (figura 25) se siguió el segundo método propuesto por Campos y Leite (2002) que consiste en igualar la ecuación del incremento corriente anual con la ecuación del incremento medio anual, para después despejar la edad. Previamente se calcularon las ecuaciones del incremento corriente anual y la función del incremento medio anual, se utilizó la siguiente expresión:

$$etc = \frac{-c}{\sqrt{-c.b}}$$

Dónde: *etc.*: Es la edad técnica de corte. *b*, *c*=Coeficientes del modelo.

La edad técnica de corte para *Prosopis limensis* Benth., en el bosque seco de Pómac es de 28 años. Como se conoce esta edad es referida al punto donde el árbol alcanza el máximo incremento medio anual del crecimiento en diámetro; revisando la curva de crecimiento la que corresponde a este año es de 9,23 cm., es decir a partir de este punto la tasa media de crecimiento empieza a decrecer (figura 26). Este valor es de muchísima utilidad en el manejo forestal porque Según Imaña y Encinas (2008) cuando el IMA alcanza su valor máximo se define en los sistemas de manejo como el mejor momento, desde el punto de vista silvicultural para poder intervenir con raleos o cortas de explotación.

Así también estudios de densitometría con especies de *C. cateaniformes* y *S. macrophylla*, se determinó de que existe una correlación positiva entre la edad y la densidad aparente (Rosero, 2009), (Campos, 2009), es decir mientras más edad tiene un árbol la densidad también será mayor.

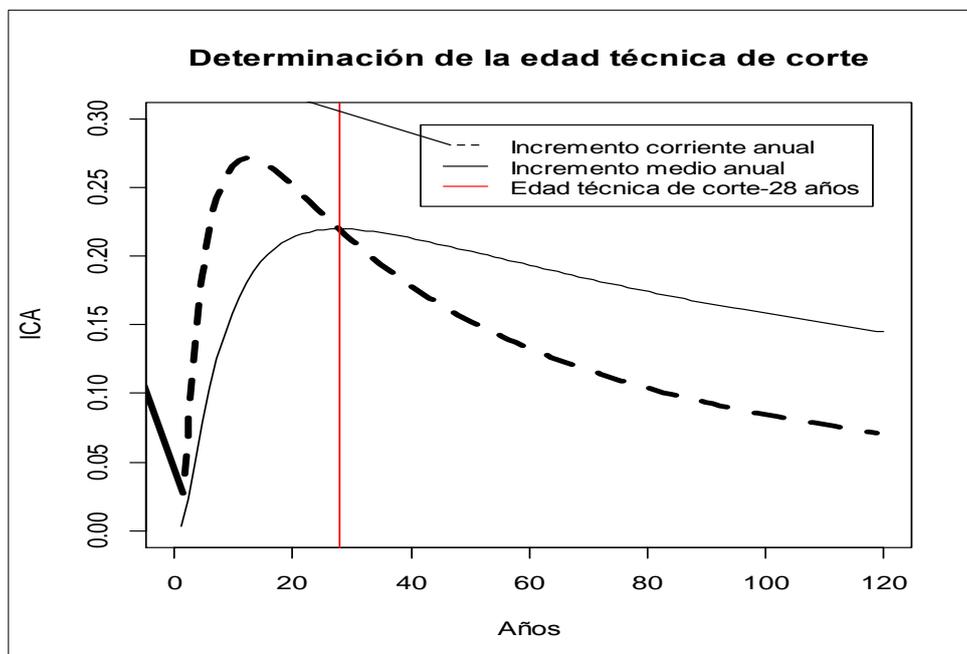


Figura 25. Comparación entre la edad técnica de corte y la edad mínima de corte considerando el DMC fijado por la Ley Forestal del Perú.

Al comparar la edad técnica y la edad mínima de corte en función al DMC fijado por la Legislación Forestal y de Fauna vigente se puede determinar que entre una edad y otra existe una diferencia de 48 años, esto implica que el árbol debe permanecer en el bosque cerca de medio siglo sosteniendo un incremento medio en diámetro cada vez menor, compensando esta pérdida de incremento en diámetro con el aumento gradual de la densidad de la madera conforme pasan los años.

4.4. Estructura anatómica de la madera de *Prosopis limensis* Benth.

Características macroscópicas: Albura y duramen abruptamente diferenciada, **albura** de color amarillo pálido (2.5 Y 8/4) y el **duramen** de color marrón oscuro (10 YR 3/3).

Textura fina, **olor** no perceptible, **sabor** no distintivo, presenta **brillo** medio.

Veteado en el corte tangencial, presenta arcos superpuestos y en el corte radial líneas vasculares.

Grano de tipo entrecruzado.

Anillos de crecimiento, anchos diferenciados por bandas claras y oscuras de forma regular, definidos por parénquima marginal.

Parénquima visible con lupa de 10X, del tipo paratraqueal vasicentrico aliforme no definido.

Poros, visibles con lupa de 10X, se observa distribución de los poros en sentido radial, taponados parcialmente con gomas, forma de los poros redonda a ovalada, predominando los redondos, solitarios y múltiples radiales de hasta 4 poros, presenta **porosidad** semicircular, **agrupación de poros** son solitarios y múltiples de 2,3-4.

Radios, visible con lupa de 10X, fina y numerosa en la sección tangencial y transversal no estratificado, muy poco contrastado en el corte radial, presencia de **inclusiones** no definidas en los vasos. (Tabla 8, figura 16).

Tabla 8. Características de la anatomía macroscópica del leño del *Prosopis limensis* Benth.

Características generales del algarrobo	
Color de la albura	2.5 Y 8/4 Amarillo pálido
Color del duramen	10 YR 3/3 Marrón oscuro
Olor	Sin olor
Sabor	Sin sabor
Brillo	Medio
Textura	Fina
Veteado	Arcos superpuestos (plano tangencial), líneas verticales (plano radial)
Grano	Entrecruzado
Anillos de crecimiento	Anchos, definido por bandas oscuras y claras
Diferencia entre madera temprana y madera tardía	Evidente
Distribución de los poros	Sentido radial
Forma de poros	Redondos a ovalada predominando los redondos.
Agrupación de poros	Poros solitarios y múltiples de 2,3 y 4
Porosidad	semicircular, poros visibles con lupa de 10X
Radio	Finos, aproximadamente 23 por cada 5 mm en la sección transversal no estratificados, visibles con lupa de 10X
Parénquima	Paratraqueal vasocéntrico, aliforme no definido
Presencia de inclusiones	Presencia de inclusiones no definidos

Características microscópicas:

En la **sección transversal** se encontró entre 16-22 por ciento del número total de la estructura, presencia de vasos porosos.

En la **sección tangencial**: se observó líneas vasculares irregulares, a brevemente tortuosas de pocos a numerosos entre 2-4-11-15/mm²; generalmente solitarios, pocas veces múltiples radiales de 2-4 vasos y en racimos. Cuando se las encuentra solas presentan una sección cruzada redonda u ovalada y poligonal en los múltiples; el diámetro tangencial desde pequeño a grande entre 60 a 230 µm; las paredes más espesas entre 10-14 µm, elementos del vaso muy cortos a cortos entre 38 a 320 µm. No presenta apéndices o a veces se divide en el extremo entre 30 a 50 µm. Las paredes internas de los vasos son delgadas con estrías irregulares. La superficie de la perforación simple, transversal en los vasos más grandes a ligeramente oblicua en los más pequeños. Los vasos del duramen a menudo llenos con resina como inclusión orgánica. El espacio intervascular pequeño de 2 a 8 µm, ovalado, o lenticular, horizontal con las aberturas ligeramente oblicuas, con frecuencia cortas a 3 hoyos. Los hoyos de los vasos del parénquima son similares a los del espacio intervascular.

Parénquima Axial: no abundante, constituyendo aproximadamente de 5-7 por ciento de la superficie total; típicamente paratraqueal, fluído; también con la presencia de parénquima apotraqueal difuso y escaso. El parénquima fusiforme en serie de 20 a 28 células y entre 120 a 260 μm de altura y 10 a 38 μm a lo ancho).

Existe presencia de cristales de oxalato de calcio solitario frecuentes en el parénquima. Se presentan radios en un 16-20 por ciento la superficie; homogéneo, principalmente, a agregados o a veces fundidos; de pocos de 4 a 12/mm.

Radios uniseriados muy estrechos de 5 a 14 μm extremadamente bajo de 18 a 140 μm , de 5 a 8 células. Los radios son multiseriados y puede ser mayormente, de 120 hasta 700 μm y de 10 a 100 células de alto delgadas, 3 a 9 células, y de 20 a 60 μm extendidas.

Rara presencia de pequeños cristales de oxalato de calcio, casi solitarios en las células procumbentes.

El tejido fibroso es abundante, constituyendo 52 por ciento del volumen de madera aproximadamente, en bandas tangenciales regulares. Fibras libriformes, sin separaciones, a menudo gelatinosas; sumamente cortas a cortas (620-1000-1228 μm); 10-13-18 μm de diámetro estrecho; las paredes muy espesas (1,5-2,5-4,5 μm).

Las cantidades 16-22 por ciento y 52 por ciento se obtuvo con el *Software (Image Application SUITE)* marca LEICA versión 3.00. El volumen total dado por:

Poros (vasos)	: 16-22 por ciento
Radios	: 16-20 por ciento
Parénquima axial	: 5-7 por ciento
Fibras	: 52 por ciento

Tabla 9. Características de la anatomía microscópica del leño de *Prosopis limensis* Benth.

TEJIDO MACERADO		CARACTERÍSTICAS					
Elemento vascular (µm)		207	161	233	178	166	Promedio: 189
		205	117	175	183	174	Promedio: 171
Punteaduras intervasculares		Alterna incluida					
Platina de perforación		Simple					
Inclusiones en los vasos		No definidos					
TEJIDO MACERADO		Algarrobo					\bar{X}
Fibras (µm)	Ancho	16.30	10.20	11.40	6.53	8.50	10.60
	Long.	1569.20	1050.00	1600.80	1287.0	1313.00	1364.20
Espesor de pared (µm)		2.70	2.55	2.84	2.27	2.84	2.60
Ø de lumen (µm)		11.40	5.96	3.56	2.84	4.82	5.70
Tipos de fibras		Fusiforme septada					
Punteaduras en la pared		No definidos					

Tabla 10. Características de la anatomía microscópica del leño de *Prosopis limensis* Benth.

Láminas histológicas		algarrobo					\bar{X}
Poros Ø (µm)		203	174	159	151	183	174
Poros N°/mm ²		4	4	4	5	5	4
Parénquima		Paratraqueal aliforme y vasicéntrico en menor porcentaje					
Anillos de crecimiento		Definidos					
Diferencia entre madera temprana y madera tardía		Diferenciado					
Distribución de los poros		Sentido radial					
Forma de poros		Ovalados					
Agrupación de poros		Simples y múltiples de 2,3					
Porosidad		Difusa					
Láminas histológicas		algarrobo					\bar{X}
Radios	Ancho (µm)	52.6	45.5	35.6	32.7	35.6	40.40
	Long (µm)	461	545	247	454	350	411.40
	N° de células/long.	32	40	21	31	25	30
	N° de células/ancho	4	4	3	3	4	4
	N° de células/ mm lineal	29	29	25	27	24	27
Tipos de radios		Homogéneos, no estratificados					
		Radios múltiples de 3,4,5 y 6					
Presencia de inclusiones		Cristales en la célula parenquimática longitudinal					
Número de cristales por célula		6	10	12	12	11	10

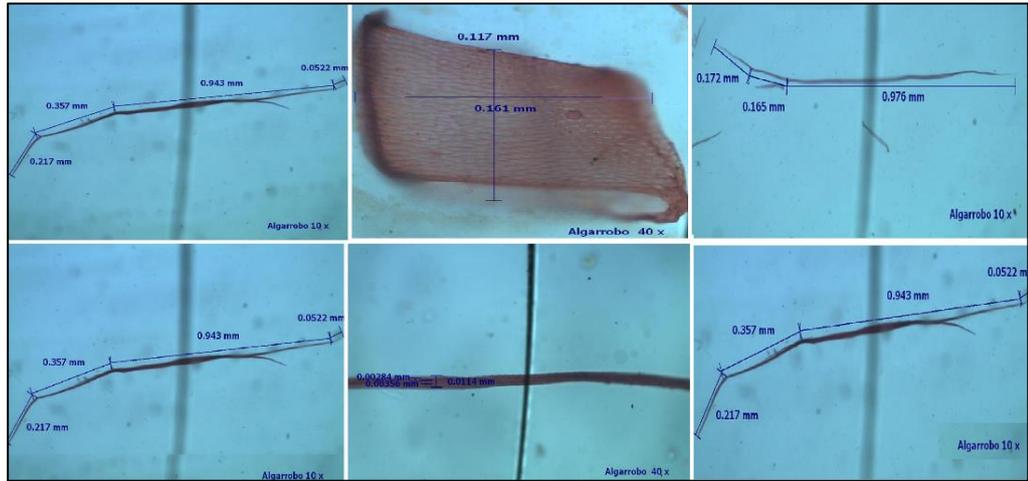


Figura 26. *Prosopis limensis* Benth.: Evaluación microscópica de vasos y fibras. A., C., D y H. a 10X y E. a 40X; B. vaso a 40X.

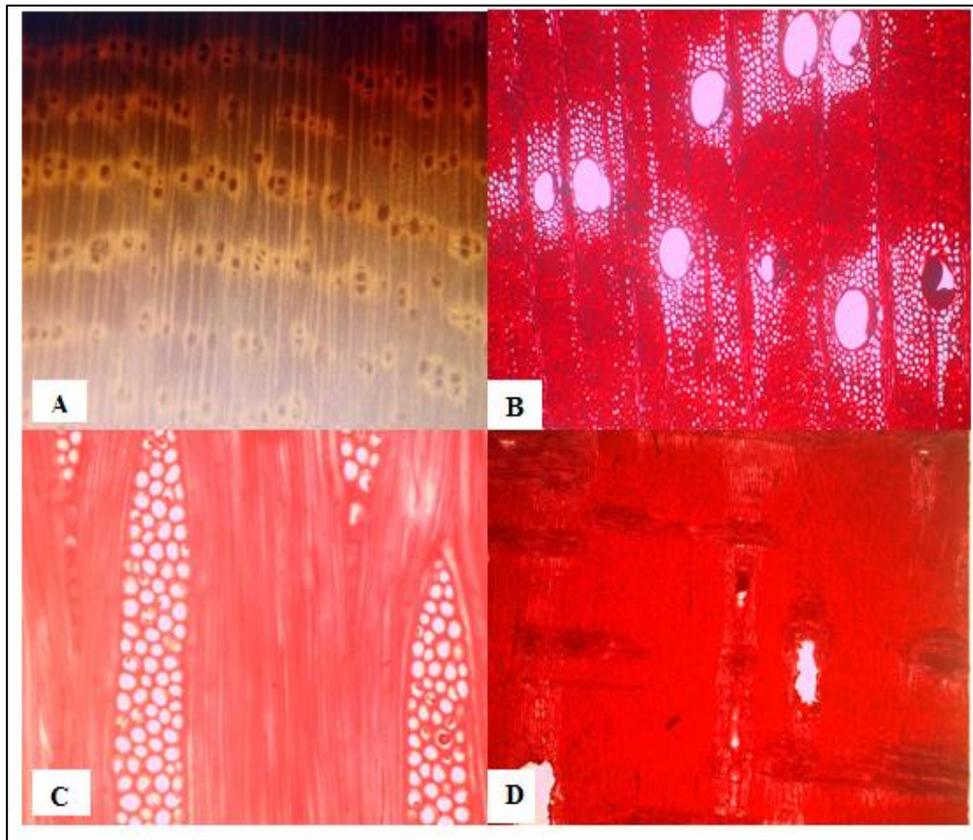


Figura 27. *Prosopis limensis* Benth.: A. Sección trasversal (10X), B. Sección transversal (40X), C. Sección longitudinal tangencial (40X). D. Sección longitudinal radial (40X).

4.5. Análisis de la correlación del crecimiento y variables climáticas

Tiene la finalidad de determinar probabilísticamente si existe relación entre variables que intervienen en el modelo del crecimiento y las variables climáticas Temperatura media ambiental y Precipitación registrada para los años de referencia, para evaluar tal efecto se utilizó el procedimiento CORR del Sistema de Análisis Estadístico (SAS) SAS® University Edition versión 9.3, para las variables intervinientes en el sistema de crecimiento del *Prosopis limensis* Benth., Los datos tomados en cuenta para el análisis se presentan en la tabla 11).

Tabla 11. Datos del Análisis de Correlación de Pearson entre variables del crecimiento estimado con el Modelo Shumacher_2 y variables climáticas

Obs	Years	Temp_Media_C	Prec_mm	Edad	IRAc	Ancho	Obs	Years	Temp_Media_C	Prec_mm	Edad	IRAc	Ancho
1	1948	21.69	1.7	1	0.001	0.001	33	1980	22.21	5.1	33	7.226	0.203
2	1949	21.57	38.3	2	0.028	0.027	34	1981	21.4	29.6	34	7.425	0.199
3	1950	20.29	15.5	3	0.107	0.079	35	1982	22.72	14.8	35	7.621	0.196
4	1951	21.95	16.8	4	0.239	0.132	36	1983	25.14	350.2	36	7.814	0.193
5	1952	21.56	12.1	5	0.414	0.175	37	1984	21.55	19.2	37	8.003	0.189
6	1953	21.88	23.9	6	0.621	0.207	38	1985	20.49	13.1	38	8.190	0.186
7	1954	20.59	13.8	7	0.851	0.231	39	1986	21.45	25.6	39	8.373	0.183
8	1955	20.91	16.8	8	1.099	0.247	40	1987	23.1	16.3	40	8.553	0.180
9	1956	21.16	20.7	9	1.357	0.258	41	1988	21.07	9.8	41	8.730	0.177
10	1957	22.42	63.2	10	1.623	0.266	42	1989	21	7.1	42	8.905	0.174
11	1958	21.78	39.4	11	1.893	0.270	43	1990	21.74	8.7	43	9.076	0.172
12	1959	21.67	23	12	2.166	0.272	44	1991	22.32	4.9	44	9.245	0.169
13	1960	22	1	13	2.439	0.273	45	1992	23.23	43.5	45	9.412	0.166
14	1961	22.23	12	14	2.711	0.272	46	1993	22.93	16.2	46	9.575	0.164
15	1962	21.71	0	15	2.981	0.270	47	1994	21.95	33.1	47	9.736	0.161
16	1963	20.38	22.1	16	3.249	0.268	48	1995	22.18	8.2	48	9.895	0.159
17	1964	20.81	14.2	17	3.514	0.265	49	1996	20.48	12.6	49	10.052	0.156
18	1965	23.05	40.8	18	3.776	0.262	50	1997	24.85	38.6	50	10.206	0.154
19	1966	21.63	14.9	19	4.034	0.258	51	1998	23.45	279.4	51	10.357	0.152
20	1967	21	22.9	20	4.288	0.254	52	1999	21.17	56.4	52	10.507	0.150

Obs	Years	Temp_Media_C	Prec_mm	Edad	IRAc	Ancho	Obs	Years	Temp_Media_C	Prec_mm	Edad	IRAc	Ancho
21	1968	20.93	5.2	21	4.538	0.250	53	2000	21.46	20.1	53	10.654	0.147
22	1969	22.8	23.7	22	4.784	0.246	54	2001	21.27	76.8	54	10.799	0.145
23	1970	21.29	14.2	23	5.026	0.242	55	2002	22.31	45.4	55	10.943	0.143
24	1971	21.23	101.8	24	5.263	0.238	56	2003	21.43	23.3	56	11.084	0.141
25	1972	23.85	81.8	25	5.497	0.234	57	2004	21.72	20.4	57	11.223	0.139
26	1973	21.47	37	26	5.727	0.230	58	2005	23.03	5.5	58	11.360	0.137
27	1974	21.34	12.3	27	5.952	0.226	59	2006	21.78	0	59	11.496	0.135
28	1975	21.19	35.1	28	6.174	0.222	60	2007	20.27	7.4	60	11.629	0.134
29	1976	23.17	11.3	29	6.392	0.218	61	2008	21.51	39.8	61	11.761	0.132
30	1977	22.65	84.8	30	6.606	0.214	62	2009	21.54	23	62	11.891	0.130
31	1978	21.9	12.7	31	6.816	0.210	63	2010	20.89	44.7	63	12.020	0.128
32	1979	22.24	9.3	32	7.023	0.207							

Dónde:

Years = Año correspondiente a las variables climáticas

Temp_Media_C = Temperatura ambiental media anual (°C)

Prec_mm = Precipitación anual (mm/año)

Edad = Edad del árbol utilizado en el modelo seleccionado Schumacher_2

IRAc = Incremento Radial Acumulado estimado por el modelo seleccionado Schumacher_2 (cm/año)

Ancho = Incremento Radial Anual estimado por el modelo seleccionado Schumacher_2 (cm/año)

4.5.1. Análisis de Correlación de Pearson entre las Variables del Crecimiento (Modelo Shumacher_2) y las Variables Climáticas

Para el análisis de correlación de Pearson se procesaron un total de 63 observaciones o muestras correspondientes a los valores anuales desde 1948 hasta 2010.

El Incremento Radial Acumulado-IRAc y el Incremento Radial Anual-Ancho ambos en milímetros por año fueron estimados por el modelo seleccionado Schumacher_2 en función a la Edad del árbol, y como ya se mencionó procesadas mediante el sistema SAS, cuyo resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Matriz de Correlación de Pearson entre variables del crecimiento estimado con el Modelo Shumacher_2 y variables climáticas

5 Variables:		Edad	IRAc	Ancho	Temp_Media_C	Prec_mm	
Simple Statistics							
Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum	Label
Edad	63	32.00000	18.33030	2016	1.00000	63.00000	Edad
IRAc	63	6.52299	3.77034	410.94843	0.00137	12.01955	IRAc
Ancho	63	0.19079	0.05863	12.01955	0.00137	0.27292	Ancho
Temp_Media_C	63	21.84095	0.99636	1376	20.27000	25.14000	Temp_Media_C
Prec_mm	63	33.98571	55.86974	2141	0	350.20000	Prec_mm

Pearson Correlation Coefficients, N = 63 Prob > r under H0: Rho=0					
	Edad	IRAc	Ancho	Temp_Media_C	Prec_mm
Edad	1.00000	0.99418	-0.39508	0.13496	0.11995
Edad		<.0001	0.0014	0.2916	0.3491
IRAc	0.99418	1.00000	-0.35868	0.16267	0.13154
IRAc	<.0001		0.0039	0.2027	0.3041
Ancho	-0.39508	-0.35868	1.00000	0.01199	-0.02362
Ancho	0.0014	0.0039		0.9257	0.8542
Temp_Media_C	0.13496	0.16267	0.01199	1.00000	0.49489
Temp_Media_C	0.2916	0.2027	0.9257		<.0001
Prec_mm	0.11995	0.13154	-0.02362	0.49489	1.00000
Prec_mm	0.3491	0.3041	0.8542	<.0001	

(Fuente: Reporte del procesamiento de datos del Anexo con el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3)

El análisis de la relación existente entre las variables de crecimiento y variables climáticas, (todas variables cuantitativas) parte del planteamiento de hipótesis, constituida por dos hipótesis una alternativa (H_A) y otra nula (H_0) por cada variable correlacionada, lo que se expresa en la tabla 13.

Tabla 13. Formulación del Sistema de hipótesis para las variables en estudio.

Hipótesis	Símbolo	Descripción
Hipótesis Alternativa	H_A	Las dos variables en estudio están relacionadas
Hipótesis Nula	H_0	Las dos variables en estudio son independientes

Para ello se planteó, un sistema de hipótesis por cada par de variables para determinar si están o no relacionadas, para la investigación es de interés determinar las relaciones expuestas en las tablas 14 y 15.

Tabla 14. Sistema de hipótesis para las variables de crecimiento y temperatura media ambiental anual

VARIABLES DE CRECIMIENTO	HIPÓTESIS	VARIABLE CLIMÁTICA Temp_Media_C*
Edad	H_{A1}	La edad y la temperatura media ambiental anual están relacionadas
	H_{01}	La edad y la temperatura media ambiental anual son independientes
IRAc	H_{A2}	El IRAc y la temperatura media ambiental anual están relacionadas
	H_{02}	El IRAc y la temperatura media ambiental anual son independientes
Ancho	H_{A3}	El Ancho y la temperatura media ambiental anual están relacionadas
	H_{03}	El Ancho y la temperatura media ambiental anual son independientes

*Temperatura media ambiental anual en °C

Tabla 15. Sistema de hipótesis para las variables de crecimiento y precipitación anual

VARIABLES DE CRECIMIENTO	HIPÓTESIS	VARIABLE CLIMÁTICA Prec_mm**
Edad	H_{A4}	La edad y la precipitación anual están relacionadas
	H_{04}	La edad y la precipitación anual son independientes
IRAc	H_{A5}	El IRAc y la precipitación anual están relacionadas
	H_{05}	El IRAc y la precipitación anual son independientes
Ancho	H_{A6}	El Ancho y la precipitación anual están relacionadas
	H_{06}	El Ancho y la precipitación anual son independientes

**Precipitación anual en mm.

Dónde:

- Edad* = Edad del árbol utilizado en el modelo seleccionado Schumacher_2
IRAC = Incremento Radial Acumulado estimado por el modelo seleccionado Schumacher_2 (cm/año)
Ancho = Incremento Radial Anual estimado por el modelo seleccionado Schumacher_2 (cm/año)
Temp_Media_C = Temperatura media ambiental anual (°C)
Prec_mm = Precipitación anual (mm/año)

4.5.2. Prueba de hipótesis de las variables de crecimiento del árbol y la temperatura

Tabla 16. Prueba de hipótesis para las variables edad del árbol y Temperatura media ambiental anual

Variable de Crecimiento	Variable climática: Temperatura		Hipótesis	Resultado del análisis
	Correlación de Pearson	P-valor		
Edad	0,13496	0,2916	H_{A1}	Se rechaza
		$0,2916 > 0,05$	H_{01}	Se acepta

Fuente: Matriz de Correlación de Pearson reportado por el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3

Haciendo el análisis correspondiente podemos afirmar:

- El coeficiente de correlación de Pearson es pequeño 0,13496 (cerca a cero) indica que no hay evidencia suficiente de relación entre la variable Edad del árbol y Temperatura media ambiental anual.

El P-valor 0,2916 alcanzó un valor mayor a 0,05 (95% de confianza) hay una mínima correlación entre variables.

Tabla 17. Prueba de hipótesis para las variables IRAc y Temperatura media ambiental anual

Variable de Crecimiento	Variable climática: Temperatura		Hipótesis	Resultado del análisis
	Correlación de Pearson	P-valor		
IRAc	0,16267	0,2027	H_{A2}	Se rechaza
		$0,2027 > 0,05$	H_{02}	Se acepta

Fuente: Matriz de Correlación de Pearson reportado por el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3

Haciendo el análisis correspondiente podemos decir que:

- El coeficiente de correlación de Pearson es pequeño 0,16267 (cercano a cero) indica que no hay evidencia suficiente de relación entre la variable edad del árbol y temperatura media ambiental anual.

El P-valor 0,2027 es mayor a 0,05 (95% de confianza) hay una mínima correlación entre variables.

Tabla 18. Prueba de hipótesis para las variables Ancho y Temperatura media ambiental anual

Variable de Crecimiento	Variable climática: Temperatura		Hipótesis	Resultado del análisis
	Correlación de Pearson	P-valor		
Ancho	0,01199	0,9257	H_{A3}	Se rechaza
		0,9257 > 0,05	H_{03}	Se acepta

Fuente: Matriz de Correlación de Pearson reportado por el SAS® (*Statistical Analysis Software*) *University Edition* versión 9.3

Haciendo el análisis correspondiente podemos afirmar:

- El coeficiente de correlación de Pearson es pequeño 0,01199 (cercano a cero) indica que no hay evidencia suficiente de relación entre la variable Ancho y Temperatura media ambiental anual.

El P-valor 0,9257 es mayor a 0,05 (95% de confianza) hay una mínima correlación entre variables.

4.5.3. Prueba de hipótesis de las variables de crecimiento del árbol y la precipitación

Tabla 19. Prueba de hipótesis para las variables Edad del árbol y Precipitación anual

Variable de Crecimiento	Variable climática: Precipitación		Hipótesis	Resultado del análisis
	Correlación de Pearson	P-valor		
Edad	0,11995	0,3491	H_{A4}	Se rechaza
		0,3491 > 0,05	H_{04}	Se acepta

Fuente: Matriz de Correlación de Pearson reportado por el SAS® (*Statistical Analysis Software*) *University Edition* versión 9.3.

Haciendo el análisis correspondiente podemos decir que:

-El coeficiente de correlación de Pearson es pequeño 0,11995 (cerca a cero) indica que no hay evidencia suficiente de relación entre la variable Edad del árbol y Temperatura media ambiental anual.

El P-valor 0,3491 es mayor a 0,05 (95% de confianza) hay una mínima correlación entre variables.

Tabla 20. Prueba de hipótesis para las variables IRAc y Precipitación anual

Variable de Crecimiento	Variable climática: Precipitación		Hipótesis	Resultado del análisis
	Correlación de Pearson	P-valor		
IRAc	0,13154	0,3041	H_{A5}	Se rechaza
		0,3041 > 0,05	H_{05}	Se acepta

Fuente: Matriz de Correlación de Pearson reportado por el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3.

De acuerdo al análisis, el coeficiente de correlación de Pearson es pequeño 0,13154 (cerca a cero) indica que no hay evidencia suficiente de relación entre la variable IRAc y Temperatura media ambiental anual.

El P-valor 0,3041 es mayor a 0,05 (95% de confianza) hay una mínima correlación entre variables.

Tabla 21 Prueba de hipótesis para las variables Ancho y Precipitación anual

Variable de Crecimiento	Variable climática: Precipitación		Hipótesis	Resultado del análisis
	Correlación de Pearson	P-valor		
Ancho	0,13154	0,3041	H_{A5}	Se rechaza
		0,3041 > 0,05	H_{05}	Se acepta

Fuente: Matriz de Correlación de Pearson reportado por el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3

El análisis indica que el coeficiente de correlación de Pearson es pequeño 0,13154 (cerca de cero) indica que no hay evidencia suficiente de relación entre la variable Ancho y Temperatura media ambiental anual.

El P-valor 0,3041 es mayor a 0,05 (95% de confianza) hay una mínima correlación entre variables.

4.5.4. Análisis gráfico de correlación entre variables del crecimiento (Modelo Shumacher-2) y variables climáticas

El análisis gráfico de correlación se realizó para contrastar si existe relación entre variables que intervienen en el modelo y las variables climáticas Temperatura ambiental media y Precipitación registrada para los años de referencia, para el procesamiento se utilizó el procedimiento *plots=matrix (histogram)* del Sistema de Análisis Estadístico (SAS) SAS® (*Statistical Analysis Software*) *University Edition* versión 9.3, para las variables intervinientes en el sistema de crecimiento del *Prosopis limensis* Benth., El resultado obtenido se presenta en el siguiente diagrama de matriz simétrica:

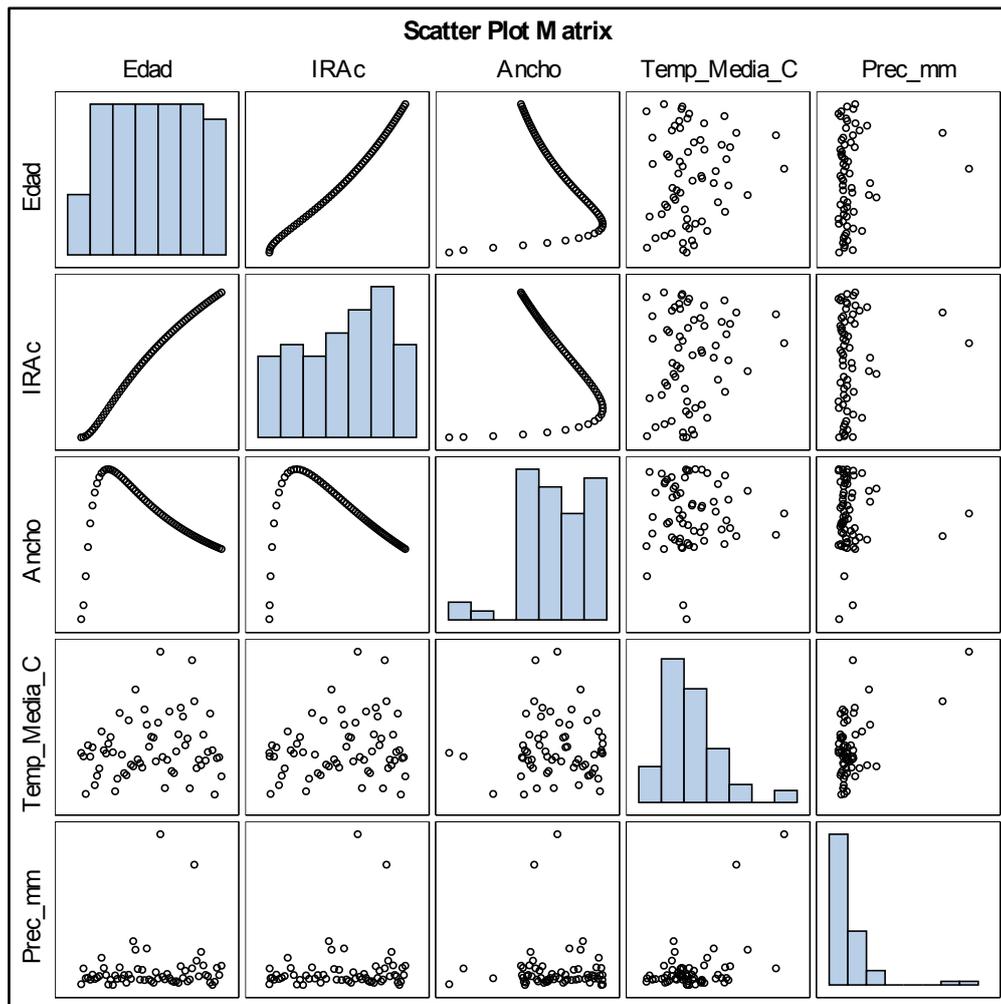


Figura 28. Diagrama de matriz simétrica para las variables del sistema (Fuente: Reporte del procesamiento de datos del Anexo con el SAS® (*Statistical Analysis Software*) University Edition versión 9.3)

Haciendo el análisis correspondiente podemos decir que:

En el *Diagrama de matriz simétrica* se puede apreciar en la primera fila la gráfica Edad - IRAc con una tendencia lineal que corresponde a los valores de $r = 0,99418$ (Correlación de Pearson) y $P\text{-valor} < 0,0001$ de la Matriz de Correlación de Pearson, que indica con un 99% de confianza que las variables están relacionadas.

Por otro lado, en la tercera fila de la misma figura se aprecia la gráfica Ancho Temperatura Media Anula sin tendencia definida y datos bastante dispersos que corresponden a los valores de $R = 0.01199$ (Correlación de Pearson) y $P\text{-valor}: 0,9257 > 0,05$ de la Matriz de Correlación de Pearson, que indica con un 99% de confianza, hay una mínima correlación entre variables.

V. CONCLUSIONES

- 1) Los árboles de *Prosopis limensis* Benth., forman anillos de crecimiento anuales demarcado por el parénquima marginal, lo cual ha permitido determinar la edad promedio de 77,13 años en un rango de 47 y 106 años.
- 2) La caracterización de los anillos de crecimiento ha permitido detectar la presencia de anillos anuales, así como falsos anillos.
- 3) La estructura macroscópica de la madera de *Prosopis limensis* Benth., permite señalar que la albura de color amarillo pálido (2.5 Y 8/4) y el duramen de color marrón oscuro (10 YR 3/3), presenta grano entrecruzado, sabor y olor no perceptible, textura fina.
- 4) Conforme a la caracterización anatómica microscópica de la madera del *Prosopis limensis* Benth., posee elementos vasculares en diámetro promedio de 189 μm , longitud promedio de 171 μm , punteaduras intervasculares alterna incluida, platina de perforación simple, inclusiones en los vasos no definidos.
- 5) Se encontró baja correlación entre la temperatura y la precipitación y los anchos de los anillos de crecimiento de *Prosopis limensis* Benth., lo que evidencia que es una especie freatofita, que cuando adultos y en época de sequía, se abastecen de agua subterránea a través de su raíz principal para desarrollar su ciclo biológico, en tanto sus raíces secundarias son escasas y poco desarrolladas.
- 6) La edad mínima de corte para *Prosopis limensis* Benth., determinada en función del Modelo tipo 2 de Schumacher, es de 91 años y la edad técnica de corte es de 28 años.

VI. RECOMENDACIONES

- Elaborar planes silviculturales basados en curvas de crecimiento desarrolladas en el presente estudio, que conduzcan a la protección y conservación de la especie *Prosopis limensis* Benth., en la Zona de Amortiguamiento y el Santuario Histórico de Pómac y otros lugares donde crece la especie.
- Evaluar la influencia de las formas irregulares del fuste en la formación de anillos de crecimiento dependiendo la calidad de sitio y factores hidrológicos.
- Disponer de estaciones meteorológicas en terreno y profundizar los estudios dendrocronológicos para la especie *Prosopis limensis* Benth., y el clima los resultados obtenidos y conocer las limitaciones para su crecimiento.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R. M. y S. D. Aguilar 1991. Determinación de la “calidad de estación” en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. *Rev. Cien. For. En Méx.* 16(69): 35-57.
- Aguirre Z., Linares-Palomino R., Kvist L.P. 2006. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. *Arnaldoa* 13: 324-350.
- Aimi A., Alva W., Perassi E. (Eds.), 2008, *Sipán. II tesoro de la Tombe Reali, Giunti, Firenze.*
- Alvarez J.A., Villagra P.E. 2009. *Prosopis flexuosa* DC. in Argentina (Fabaceae, Mimosoideae). Tomo 35 (1): 49-63.
- Avery T. E., Burkhardt H. E. 1994. *Forest Measurements*. Cuarta - Edición. Boston: McGraw-Hill, 1994. 400 p.
- Balvanera P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21(1): 136-147.
- Becerra V. 2010. Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata* L., *Nageia rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger a través del estudio dendrocronológico en la Región Cajamarca-Perú, Tesis de Maestría, 89 p.
- Benavides S., J. D. 1991. Índices de sitio para estimar la calidad de sitio en bosques de coníferas. *Rev. Cien. For. en Méx.* 16 (69): 3-34.
- Best B.J., Kessler M. 1995. *Biodiversity and Conservation in Tumbesian Ecuador and Perú*. Wellbrook Court, U.K. Birdlife International: 218.

- Bolfor 1997. Informe final de consultoria Silvicultura de Bosque Humedo Tropical, Documento Técnico 52 /1997. 22 p.
- Bolzon, G.; Nisgoski, S.; Lomeli-Ramírez, María. 2010. Anatomía y ultraestructura de la madera de tres especies de *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) del Parque Chaqueño seco, Argentina. Madera bosques [online], Vol: 16 (4): 21-38.
- Boninsegna J. A., Villalba R., Amarilla L., Ocampo, J. 1989. Studies on tree rings, growth-rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. Iawa Bulletin 10: 161-169.
- Botosso P., Vetter R., Tomazello F. 1991. Algunos 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. 3 (2): 163–180.
- Bräuning A, Ganzhi O. 2006, Forest growth dynamics and climate history dendroecological reconstruction and Climate modeling, Bräuning, Institute of Geography Erlangen, 2006, 56 p.
- Brena D. Bom R. 1991. Modelos de crecimiento e produção. Curitiba, Curso de pós-doutorado, universidade federal de Lavras.
- Brienen R., Zuidema P. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rainforest: 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. Scientific Series, 10 (2):19-34. 137 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, BO. 33 p.
- Brienen R. 2003. Recuperación del volumen de madera bajo diferentes ciclos de corta: Resultados de simulaciones para seis especies maderables en el norte de Bolivia. Informe Técnico N° 9. Riberalta, Beni, Bolivia. 23 p.
- Briffa K. 1997. Trees and Indicators of Climate Change. Consultado el 18 de Marzo del 2008. Disponible en <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/annrep94/trees>.

- Brown P.M. 2003. Introduction to dendrochronology lecture1: Basic terminology and Concepts. Tucson: Rocky Mountain Tree – Ring Research. 21 p.
- Bullock S.H., Mooney H.A., Medina E. 1995. Cambridge University Press, New York. USA. Seasonally Dry Tropical Forests: 450 p.
- Burkart A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae sub.fam.Mimosoideae). Journal of the Arnold Arboretum 57: 219-249 y 450-455.
- Bussab, WO. 1986. Análise de variância e de regressão. Métodos Quantitativos V.7. São Paulo, BR, Atual. 147 p.
- Caballero, F. 2011. *Selección de modelos mediante criterios de información en análisis factorial. Aspectos teóricos y computacionales.* . España: Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 171 p.
- Campos J. C. C., Leite H. G. 2002. Mensuração Florestal: perguntas e respostas. Viçosa, MG: Editora UFV. 407 p.
- Campos J.C.C. Leite H.G. 2006. Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas. Viçosa: 2 Ed. UFV, 470 p.
- Campos L. E. 2009. Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el Noreste de la Amazonia, Región Loreto-PE.165 p.
- Castro MA. 1994. Maderas Argentinas de *Prosopis*. Atlas Anatómico. Secretaría General de la Presidencia de la Nación Argentina. 101 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. 114 p
- Clutter J. L. 1983. Timber management: a quantitative approach. New York: John Willey Sons, 333 p.
- Condit R., Hubbel S.P., Foster R.B. 1995. Mortality-rates of 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. Ecol. Monogr. 65,419 – 439.

- Consolidado Otorongo. 2006. PGMF-Plan General De Manejo Forestal-Consolidado Otorongo. 2006. Expediente técnico. Consolidado Otorongo, Puerto Maldonado, Perú. 86 p.
- Cook E., Kairiukstis L. 1989. Methods of dendrochronology: application on the environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Academic. 394 p.
- Darlington, R. B. 1968. "Multiple Regression in Psychological Research and Practice," *Psychological Bulletin*, 69, 161–182.
- D Arrigo R., Barbetti M., Watanasak M., Buckley B., Krusic P., Boonchirdchoo S., Sarutanon, S. 1997. Progress in Dendroclimatic Studies of Mountain Pine in Northern Thailand. *IAWA journal*. 8: 433-444.
- Da Cunha, T., & Guimarães, C. 2009. Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de *Pinus taeda* L. en el sur de Brasil. *Revista Forestal (Costa Rica)* Vol. 6 Núm. 16.
- Daniel T.W., Helms J. A., Baker, F.1979, Principles of silviculture. New York: Mc Graw-Hill, 500 p.
- Da-Silva L.A., Zanella F., Marins L. 2010. Crescimento de *Hymenaea courbaril*. L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. *Revista Acta amazônica*. 6 p.
- Dauber E.2003. Modelo de simulación para evaluar las posibilidades de cosecha en el primer y segundo ciclo de corta en bosques tropicales de Bolivia. Documento Técnico 128/2003. BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.42 p.
- Dauber E., Fredericksen T., Peña-Claros M. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management*. 214: 294-304
- Davis S., Heywood V. H., Hamilton A.C. 1997. Centres of plant diversity, vol 3: the Americas. IUCN, Gland.
- Détienne P. 1976. Nature et périodicité des cernes le bois d'Iroko. CTFT, Nogent – Sur-Marne: 20 p.
- Détienne P., Mariaux A. 1970. Nature et périodicite des cernes dans le bois rouges de Méliacées africaines. *Bois et Forést des Tropiques* 175: 53-61.

- Devall M., Parresol B., Wright S. 1995. Dendrocronological Analysis of *Cordia Alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in Central Panama. *IAWA Journal*. Vol 16: 411-424.
- Dieguez U., Barrio M., Castedo F., Ruiz A., Alvarez M., Alvarez J., Rojo A. 2003. *Dendrometría*. Madrid, España. 327 p.
- Dunisch, O.; Montoia, V., 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.
- Dinerstein E., Olson D.M., Graham D.J., Webster A.L., Primm S.A., Bookbinder M.P., Ledec G. 1995. The World Bank, Washington, DC., USA. A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean: 129 p.
- Dirzo R., Young H.S., Mooney H.A., Ceballos G. 2011. Island Press, Washington, DC 20009, USA *Seasonally Dry Tropical Forests ecology and conservation*.
- Dunisch O., Montoia V., 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.
- Espinosa C.I., De-la-Cruz M., Luzuriaga A.L., Escudero A. 2012. Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación. *Asociación Española de Ecología Terrestre-AEET. Ecosistemas* 21 (1-2): 167-179. Consultado el 15 de noviembre del 2009 en <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=713>. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/35> consultado nuevamente el 17 de agosto del 2017
- Fredericksen T.S. 1998. Limitations of low-intensity selective and selection logging for sustainable tropical forestry. *Commonwealth Forestry Review* 77: 262–266.
- Fredericksen T. 2003. Ciclos de Corta en Bosques Tropicales de Bolivia: Opciones Basadas en Investigación sobre Manejo Forestal. BOLFOP- Proyecto de Manejo.
- Fritts H.C. 1976. *Tree rings and climate*. 2nd edition. USA. The Blackburn Press. 567 p.

- Furley P.A., Ratter J.A. 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. *Journal of Biogeography* 15:97-108.
- Gaillard C. 2000. Estimación del crecimiento y producción de una plantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* var. *gigantea*). Sin riego en la provincia de Santiago del Estero, Quebracho, Argentina. (9):127-40.
- García C.X, Rodríguez S.B.1993. Corta Intermedia en sitios de vegetación secundaria. *Ciencia Forestal en México*.18 (74):81-100.
- Gentry A.H. 1982. Patterns of Neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology* 15:1-84.
- Gentry A. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. In: Bullock S.H., Mooney H.A., Medina E. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. *Seasonally Dry Tropical Forests*: 146-194.
- Giménez, A.; Ríos, N.; Moglia, J.; López, C.1998. Leño y corteza de *Prosopis alba* Griseb. algarrobo blanco, Mimosaceae, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. *Bosque*: 19 (2): 53-62.
- Giménez, A.; Ríos, N.; Moglia, Hernandez, P.; Bravo, S. 2000. Leño y corteza de *Prosopis nigra* (Griseb) Hieron. Mimosaceae, en relación a algunas magnitudes dendrométricas. *Revista Forestal Venezuela*: 44 (2): 29-37.
- Gomes A., G. Bolzon-de-Muñiz. 1988. Wood Structure and Ultrastructure of *Prosopis caldenia*, *P. chilensis* and *P. Juliflora* and Influence of Ecological Factors. The Current State of Knowledge on *Prosopis juliflora*; FAO: 187–192)
- Gotsch S.G., Powers J.S., Lerdau M.T. 2010. Leaf traits and water relations of 12 evergreen species in Costa Rican wet and dry forests: patterns of intra-specific variation across forests and seasons. *Plant Ecology* 211:133-146.
- Grissino-Mayer H. 1997. Principles of Dendrochronology. <http://www.ltrr.arizona.edu/people/henri/princip.htm>. Consultado el 24 de junio del 2014. <http://web.utk.edu/~grissino/principles.htm> Consultado nuevamente 17 de agosto 2017.

- Grissino-Mayer, H. 1996. Dendrocronología. Disponible en <http://www.sonic.net/bristlecone/dendro.html>. Consultado el 22 de Noviembre del 2014.
- Grissino-Mayer, H. 2001. Evaluating crossdating accuracy: manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree Ring Research*, Tucson, 57: 205-221.
- 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.
- Hosokawa, R., & Souza, A. (1989). *Aplicações de relações hipsométricas e equações de volume em manejo*. Brasília, BR, : ABEAS. 43 p.
- Husch B., Miller I. C., Beers T. W. 1982. *Forest Mensuration*. New York: John Wiley, 43: 57-95.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull.* n.s. 10 (3): 219-332.
- IBAMA-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.
- Imaña J., Encinas O. 2008. *Epidiometria Forestal*. Universidad de Brasilia Departamento de Engenharia Florestal, Universidad de los Andes de Venezuela, Facultad de Ciencias forestales y del Ambiente. Brasilia, Brasil, Mérida-Venezuela. 54 p.
- Iturre M., Araujo P., 2006, *Crecimiento y Producción del Rodal Regular*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Serie didáctica N° 23. Argentina. 75 p.
- Jacoby G. 1989. Overview of Tree Rings Analysis in Tropical Regions. *IAWA. Bull.*n.s. Vol. 10: 99-108.

- Janzen D.H. 1988. Tropical Dry Forest the most endangered major tropical Ecosystem. In: Wilson E.O. (ed.). National Academy Press, Washington DC, USA. Biodiversity: 130-137.
- Jiménez S., Alfaro M., Araya J. s. f. Introducción a la Valoración Forestal. UNA. Heredia, Costa Rica. 96 p.
- Judge, G. G., Griffiths, W. E., Hill, R. C., Lutkepohl, H., and Lee, T. C. (1985), The Theory and Practice of Econometrics, Second Edition, New York: John Wiley & Sons.
- 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, 165 p.
- Kham N. 1997. Common species for Tree Rings Dating. Consultado el 25 de Junio del 2008. Disponible en <http://www.emporia.edu/S/www/earthsci/student/nang/treering.htm>.
- Klaus G., Sánchez S., Alvarez J. 2007. Estructura y Crecimiento Del bosque. In.: Gadow, K. v., Real, P., Álvarez González, J.G., 2001: Modelización Del Crecimiento y la evolución de bosques. IUFRO World Series Vol. 12: 242. León, W. Y. Espinoza De Pernía, N. 2001. Anatomía de la madera. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Mérida – Venezuela. 397 p.
- León W., Espinoza de Pernía N. 2001. Anatomía de la madera. Universidad Mayor de San Simón Mérida, Venezuela. 397 p.
- Lieberman D., Lieberman, M., Hartshorn G.S., Peralta, R., 1985 A. Growth rates And Age-Size Relationships Of Tropical Wet Forest Trees In Costa Rica. J. Trop. Ecol. 11, 97–109.
- Lima L.A., Rodal M.J.N. 2010. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. Journal of Arid Environments 74:1363-1373.
- Linares-Palomino R., Kvist L.P., Aguirre-Mendoza Z., Gonzales-Inca C. 2010. Diversity and endemism of woody plant species in the Equatorial Pacific seasonally dry forests. Biodiversity and Conservation 19:169-185.

- Linares-Palomino R., Oliveira-Filho A.T., Pennington R.T. 2011. Neotropical Seasonally Dry Forests: Diversity, Endemism and Biogeography of Woody Plants. In: Dirzo R., Mooney H., Ceballos G., Young H. (eds.). Island Press. Washington, DC 20009, USA. Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation: 3-21.
- Linares-Palomino R., Ponce Álvarez S. 2005. Tree community patterns in seasonally dry tropical forests in the Cerros de Amotape Cordillera, Tumbes, Peru. *Forest Ecology and Management* 209: 261-272.
- Lisi C.S., Lemos A. V., Tomazello Filho M. 1999. Variación radial de la estructura anatómica de la madera de *Tabebuia heptaphylla* y *T. Impetiginosa*. Congreso Nacional de Botánica, 50. Santa Catarina 1999. Anais. Sao Paulo, Sociedad Botânica de Brasil.
- López, J., & Valles, A. 2009. Modelos para la estimación del índice de sitio para *Pinus durangensis* Martínez en San Dimas, Durango. *Ciencia Forestal en México*: 34 (105): 87-198.
- Lopez T.J., Tamariz J.C. 2005. Crecimiento em diámetro de *Lysiloma latisiliquum* (L). Benth. En bosques secundarios en escarega, Campeche, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Año/Vol., Número.002, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México: 17-123.
- López R.P., Alcázar D.L., Macía M.J. 2006. The arid and dry plant formations of South America and their floristic connections: new data, new interpretation? *Darwiniana* 44:18-31.
- Lounman. B. Quiros.D., Nilsson M. 2001. Silvicultura de Bosques Latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Serie Técnica, Manual Técnico Costarrica, Turrialba. 252p.
- Maass M., Burgos A. 2011. Water Dynamics at the Ecosystem Level in Seasonally Dry Tropical Forests. In: Dirzo R., Mooney H., Ceballos G., Young H. (eds.). Island Press. Washington, DC 20009, USA. Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation: 141-156.
- Marcelo-Peña, J., Pennington, R. T., Reynel, C. y Zevallos, P. 2010. Guía ilustrada de la Flora Leñosa de los Bosques Estacionalmente Secos de Jaén, Perú. Herbario de La Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, y Royal Botanic Garden Edinburgh. Asociación Tarea Gráfica Educativa, Lima. 286 p.

- Maestre F.T., Puche M.D. Guerrero C., Escudero A. 2011. Shrub encroachment does not reduce the activity of some soil enzymes in Mediterranean semiarid grasslands. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 1746-174.
- Malleux O. J. 1982. Inventarios Forestales en bosques tropicales. Lima Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 441 p.
- Manta, M.I. 1988. Análisis silvicultural de dos tipos de bosque húmedo de bajura, en la vertiente atlántica de Costa Rica. Tesis para obtener el Grado de Magíster Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. 150 p.
- Manokaran N., Kochummen K.M., 1987. Recruitment, growth and mortality of tree species in a lowland dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. *J. Trop. Ecol.* 3,315-330.
- Manzanero, M., Pinelo, G. 2004. Plan silvicultural en unidades de manejo forestal: Reserva de Biósfera Petén, Maya. PROARCA, Serie Técnica N°3. USAID-BM-WWF. 48 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.
- Meira-Arruda *et al.* 2011 Meira Arruda, D., D. Oliveira Brandão, D., Vieira Costa, F., Soares Tolentino, G., Duque Brasil, R., D Ângelo, S., Ferreira Nunes, Y.R. 2011. Structural Aspects and Floristic Similarity Among Tropical Dry Forest Fragments with Different Management Histories. *Revista Árvore* 35:131-142.
- Mayle F.E. 2004. Assessment of the Neotropical dry forest refugia hypothesis in the light of palaeoecological data and vegetation model simulations. *Journal of Quaternary Science* 19: 713-720.
- Meza, V. H. 2008. Evaluación de la eficiencia económica y la integridad ecológica para dos tipos de bosques húmedos intervenidos bajo manejo forestal con diferentes intensidades de cosecha en la Región Norte y Atlántica de Costa Rica. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).Turrialba.Costarrica.128 p.

- Mccarthy B. 1998. Dendrochronology Seminar. PBIO-69 Dendrochronology Seminar 500 Server. Ohio University. Meira-Arruda D., Oliveira-Brandão O., Vieira-Costa D., Soares-Tolentino F., Duque-Brasil, R., Ângelo D. Ferreira. Nunes Y.R. 2011. Structural Aspects and Floristic Similarity Among Tropical Dry Forest Fragments with Different Management Histories. *Revista Árvore* 35:131-142.
- Miles L., Newton A.C., De-Fries R., Ravilious C., May I., Blyth S., Kapos V., Gordon J.E. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*: 491-505.
- Monroy R., C. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. En la región de Huayacocotla, estado de Veracruz. *Rev. Cien. For. en Méx.* 21 (80):57-77.
- Morales, M. S.; Villalba R., Grau H. R., Villagra Pablo E., Boninsegna J. A., Ripalta A. 2001. Potencialidad de *Prosopis ferox* Griseb (Leguminosae, subfamilia: Mimosoideae) para estudios dendrocronológicos en desiertos subtropicales de alta montaña. *Rev. chil. hist. nat.* 74(4): 865-872.
- Moscovich, F. 2004. Modelos de crecimiento y producción forestal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, 56 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
- Mozetto A. A., Fritz P., Moreira M. Z., Vetter R. E., Aravena R., Salati E.; Drimmie R. J. 1988. Growth Rates Of Natural Amazonian Forest Trees Based On Radiocarbon Measurements. *Radiocarbon*, V. 30, P. 1-6.
- Murphy P. G., Lugo A.E. 1986. Ecology of Tropical Dry Forest. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 17:67-88.
- Murphy P.G., Lugo A.E. 1995. Dry forests of Central America and the Caribbean in: Bullock, S.H., Mooney H.A., Medina E. (eds.). Cambridge University Press, New York. USA. *Seasonally Dry Tropical Forests*: 9-34.
- Navarro, G. 2005. Diseño y análisis microeconómico de los mecanismos monetarios de fomento a las plantaciones forestales en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 43:36-48.

- Ortiz, E.; Ghezzi, i.; Salazar, P. Rodríguez, R. 2018. Identificación y caracterización de los anillos de crecimiento en *Prosopis* sp de la costa norte del Perú. *Naturaleza y Sociedad*: Vol: 1 (1): 3-8.
- Quiñones Ch., A. 1995. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques del Estado de Durango. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 133 p.
- Patiño V.F, López T.J.J., Gómez D.A. 1994. Selva (Versión 4.0) Paquete de cómputo para procesar datos de Inventario para especies en La península de Yucatán .Centro de Investigaciones Región Sur Este. Instituto de Investigaciones Forestales agrícolas y Pecuarias.Merida.Yucatan.46 p.
- Pausas J.G., Bradstock R.A. 2007. Fire persistence traits of plants along a productivity and disturbance gradient in Mediterranean shrublands of south-east Australia. *Global Ecology and Biogeography* 16: 330–340.
- Pennington R.T., Prado D.E., Pendry C.A. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27:261-273.
- Peralvo M., Sierra R., Kenneth R., Ulloa C. 2007. Identification of Biodiversity Conservation Priorities using Predictive Modeling: An Application for the Equatorial Pacific Region of South America. *Bioiversity and Conservation* 16(9):2649-2675.
- Pérez-García E.A., Meave J.A., Villaseñor J.L., Gallardo-Cruz J.A., Lebrija-Trejos E.E. 2010. Vegetation Heterogeneity and Life-Strategy Diversity in the Flora of the Heterogeneous Landscape of Nizanda, Oaxaca, Mexico. *Folia Geobotánica* 45: 143- 161.
- Poorter L., Boot R., Hayashida-Oliver Y., Leigue J., Pena-Claros M., Zuidema P. A. 2001. Estructura y dinámica de un bosque húmedo tropical en el norte de la Amazonía boliviana. PROMAB, Informe Técnico 2, Riberalta, Bolivia.35 p.
- Postillon, T. 2011. Anatomía Y propiedades físicas de *Prosopis pallida* K. Tumbes. Tesis para potar el título profesional de Ingeniero Forestal Y Ambiental. Huancayo, Perú, 118p.
- Prado D.E., Gibbs P.E. 1993. Patterns of Species Distributions in the Dry Seasonal Forests of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 80: 902-927.

- Prodan M.1993. Discurso pronunciado en la Facultad De Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia Quebracho (4):51-55.
- PROFONANPE-Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas del Perú. 2009. Valoración Económica del Turismo en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado: Un estudio de caso en cuatro Áreas Naturales Protegidas del Perú/Plan Maestro del Santuario Histórico Bosque de Pómac 2011-2016. Conservación de Bosques Tropicales (ACBT) y el Programa PAN II Componente Bosque Seco. The Nature Conservancy. Lima, 84 p.
- Quiñones Ch., A. 1995. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques del Estado de Durango. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 133 p.
- Ramirez, C., Arizapana, M., & Tomazello, M. (2014 Vol. 27). Comparación entre dos métodos de evaluación de crecimiento en diámetro de *Eucalyptus urophylla* en Itamarandiba (Minas Gerais – Brasil). *Xilema* , 43-48.
- Ribeiro A. 2010. Modelagem não Linear do crescimento e da produção de plantações florestais. Tese do doutorado. Lavras, Minas Gerais, Brasil. 96 p.
- Rodríguez J. V., Salaman P., Jorgensen P., Consiglio T., Suárez L., Arjona F., Bensted-Smith R. 2004. Tumbes-Choco-Magdalena. In: Mittermeier R.A., Robles-Gil P., Hoffmann M., Pilgrim J., Brooks T., Goettsch-Mittermeier C., Lamoreux J., Da-Fonseca, G.A.B. (eds.). Hotspots Revisited: Conservation International CEMEX S.A. México D.F. México. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions: 80-84.
- Rodriguez L. C. E. 1991. Gerenciamento da produção florestal. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba (13): 1-41, Disponible en: <http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap13.pdf>.
- Rodríguez 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: 307-355.

- Rosero 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.
- Sanchez-Azofeifa G.A., Quesada M., Rodríguez J.P., Nassar J.M., Stoner K.E., Castillo A., Garvin T., Zent E.L., Calvo-Alvarado J.C., Kalacska M.E.R., Fajardo J. L., Gamon J.A., Cuevas-Reyes P. 2005. Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica* 37:477-485.
- Sander C. 1998. What is Dendrochronology?. Consultado el 15 de Agosto del 2008 Disponible en <http://www.dainet.de/bfh/ins4/chrono.htm>.
- Sanquetta C.R. 1996. Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal. Curitiba: Universidade Federal do Paraná/FUPEF – Série Didática Nº 8. 59 p.
- Santiago-Valentin E.; Olmstead R.G. 2004. Historical Biogeography of Caribbean Plants: Introduction to Current Knowledge and Possibilities from a Phylogenetic Perspective. *Taxon* 53:299.
- Shimada I., Elera C., Chang V., Neff H., Glascock M., Wagner U., Gebhard R., 1994. Capítulo 3, Hornos Y Producción De Cerámica Durante El Periodo Formativo En Batán Grande, Costa Norte Del Perú. En S.I., Tecnología Y Organización De La Producción De Cerámica Prehispánica En Los Andes (1era ed., 17 capítulos pág. 517). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Schneider P.R., Schneider, P.S. 2008. Introdução ao Manejo Florestal. 2da. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM. Brasil. 36 p.
- Schweingruber F. 1988. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: D. Reidel. 276 p.
- Schweingruber F. 1996. Tree Rings and Environment Dendrochronology. Paul Haupt Publishers Berne. Stuttgart.
- Scolforo R. 1998. Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e Nativas. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. Brasil. 453 p.

- SERNANP- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2011. Plan Maestro Santuario Histórico Bosque de Pómac-Perú 2011-2016. 1era ed. Lima, SERNANP-Lima, 171 p.
- Souza A.P. de, Escobedo J.F., Dal-Pai A., Gomes E.N. 2010. Estimativa da radiação global incidente em superfícies inclinadas por modelos isotrópicos e índice de claridade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p.339-350.
- Stahle D. W., Mushove P. T., Cleaveland M. K., Roig F., Haynes, G. A. 1999. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. Forest Ecology and Management 124:217-229.
- Swaine M.D., Lieberman D., Putz F.E. (1987) The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. J. Trop. Ecol. 359-366
- Tomazello F.M. 1985. 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 F. M., Cardoso N. 1999. Seasonal variations of the vacular cambium of Teak (*Tectona grandis* L.) in Brazil. In: R. Wimmer & R.E. Vetter (eds.) Tree Ring Analysis: 147-154. England. CAB International.
- Tomazello F. 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.
- Valerio J., Salas C.1998. Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Manual técnico (Segunda edición corregida y aumentada).Santa Cruz, Bolivia. 83 p.
- Valles G., A. G. 1994. Evaluación de índices de competencia para predecir el crecimiento de árboles individuales de *Pinus cooperi* en San Miguel de Cruces Dgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. México. 98 p.
- Vanclay J.K. 1994. Modeling forest growth and yield – applications to mixed Tropical forest. Wallingford: CAB International. 312 p.
- Vásquez N.L, Ecurra P.J, Huamán N.A. 2010. Los Algarrobos del Perú. CONCYTEC. Lima, 126 p.

- Vetter R.; Botosso P. 1989. Remarks on age and growth rate periodicity of Amazonian trees. IAWA Journal, Leiden, 10 (2): 133-145.
- Villagra P.E., Morales M.S., Villalba R., Boninsegna J.A. 2002. Dendroecología de los Algarrobales de la Zona Árida Argentina. Buenos Aires: 53-57. Consultado el 18 de octubre del 2010. Disponible en http://www.scholar.google.com.pe/scholar?star50&q=tesis+de+dendrocronologia&hl=es&as_sdt=2000&as_vis=1.
- Villalba R., Boninsegna J.A. 1989. Dendrochronological studies on *Prosopis flexuosa* D.C. IAWA Bulletin 10 (2): 155-160.
- Villalba, R.; Villagra, P.E. Boninsegna, J.A.; Morales, M.S.; Moyano V. 2000. Dendroecología Y Dendroclimatología Con Especies Del Género *Prosopis* En Argentina. Multequina 9(2): 1-18
- Williams J. 2008, Anatomía de Madera en 31 especies de la Subfamilia Mimosoideae (Leguminosae) en Venezuela. Revista Colombia Forestal Vol: 11: 113-135.
- Worbes M. 1984. Periodische Zuwachszonen an Bäumen zentralamazonischer Überschwemmungswälder. Naturwissenschaften 71: 157-158.
- 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. Richtigkeitstruktur von Jahresringen hölzer aus zentralamazonischen überschwemmungswäldern. Holz als Roh- und Werkstoff, 53: 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.
2002. Tree Ring Analysis Reveals Age Structure, Dynamics and Wood Production of a
Natural Forest Stand in Cameroon: Forest Ecology and Management (in press).

VII. ANEXOS

ANEXO 1											
MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 1)											
Árbol 1/sección											
A1				A2				A3			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1962	0.12			1962	0.12			1962	0.01		
1963	0.38			1963	0.38			1963	0.13		
1964	0.28			1964	0.20			1964	0.12		
1965	0.72			1965	0.41			1965	0.24		
1966	0.39			1966	0.38			1966	0.10		
1967	0.50			1967	0.29			1967	0.13		
1968	0.14			1968	0.18			1968	0.02		
1969	0.41			1969	0.50			1969	0.15		
1970	0.37			1970	0.37			1970	0.15		
1971	0.87			1971	1.45			1971	1.23		1.54
1972	0.48			1972	0.81			1971	0.30	*	
1973	0.31			1973	0.48			1972	1.43		
1974	0.80			1974	0.16			1972	0.39	*	2.02
1975	0.63			1975	0.36			1972	0.19	*	
1976	0.43			1976	0.17			1973	0.34		
1977	0.58			1977	0.49			1974	0.28		
1978	0.10			1978	0.21			1975	0.44		
1979	0.28			1979	0.08			1976	0.27		0.49
1980	0.18			1980	0.14			1976	0.22	*	
1981	0.24			1981	0.76			1977	0.68		
1982	0.28			1982	0.31			1978	0.12		
1983	2.53			1983	2.34			1979	0.18		
1984	0.30			1984	0.86			1980	0.04		
1985	0.33			1985	1.31			1981	0.36		
1986	0.85			1986	0.63			1982	0.13		
1987	0.43			1987	0.33			1983	1.77		2.42
1988	0.40			1988	0.30			1983	0.66	*	
1989	0.06			1989	0.18			1984	0.23		
1990	0.22			1990	0.18			1985	0.22		
1991	0.26			1991	0.09			1986	0.33		
1992	0.73			1992	0.71			1987	0.12		
1993	0.63			1993	0.20			1988	0.07		
1994	0.47			1994	0.36			1989	0.07		
1995	0.17			1995	0.15			1990	0.08		
1996	0.54			1996	0.12			1991	0.09		
1997	1.83			1997	0.31			1992	0.44		
1998	3.22			1998	2.46			1993	0.33		
1999	0.86			1999	0.15			1994	0.47		0.74
2000	0.17			2000	0.26			1994	0.18	*	

2001	0.27		2001	0.79		1994	0.10	*	
2002	0.53		2002	0.69		1995	0.04		
2003	0.52		2003	0.26		1996	0.14		
2004	0.46		2004	0.39		1997	0.37		
2005	0.12		2005	0.03		1998	2.03		2.34
2006	0.02		2006	0.04		1998	0.30	*	
2007	0.10		2007	0.18		1999	0.48		
2008	0.70		2008	0.93		2000	0.32		
						2001	0.15		
						2002	0.35		
						2003	0.15		
						2004	0.18		
						2005	0.10		
						2006	0.07		
						2007	0.11		
						2008	0.31		0.50
						2008	0.20	*	

* Presencia de falso anillo

** suma de dos o más anillos consecutivos dentro de un año evaluado

ANEXO 2											
MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 2)											
Árbol 2/sección											
B1				B2				B3			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1903	0.22			1903	0.19			1903	0.16		0.29
1904	0.10			1904	0.12			1903	0.14	*	
1905	0.18	*	0.26	1905	0.12			1904	0.04		
1905	0.07			1906	0.19			1905	0.12		
1906	0.11			1907	0.10			1906	0.16		0.28
1907	0.11			1908	0.08			1906	0.12	*	
1908	0.06			1909	0.08			1907	0.06		
1909	0.07			1910	0.06			1908	0.06		
1910	0.07			1911	0.13			1909	0.04		
1911	0.15			1912	0.21			1910	0.04		
1912	0.23		0.32	1913	0.05			1911	0.13		
1912	0.09	*		1914	0.05			1912	0.16		0.19
1913	0.02			1915	0.05			1912	0.03	*	
1914	0.04			1916	0.05			1913	0.04		
1915	0.06			1917	0.05			1914	0.04		
1916	0.07			1918	0.13			1915	0.06		

1917	0.07		1919	0.18		1916	0.06	
1918	0.19	0.27	1920	0.12		1917	0.06	
1918	0.08	*	1921	0.06		1918	0.07	
1919	0.23	0.38	1922	0.06		1919	0.17	0.21
1919	0.07	*	1923	0.09		1919	0.04	*
1919	0.08	*	1924	0.15		1920	0.12	
1920	0.11		1925	0.25		1921	0.12	
1921	0.07		1926	0.09		1922	0.06	
1922	0.07		1927	0.08		1923	0.06	
1923	0.07		1928	0.07		1924	0.17	
1924	0.16		1929	0.08		1925	0.17	0.26
1925	0.24	0.32	1930	0.08		1925	0.09	*
1925	0.07	*	1931	0.06		1926	0.07	0.19
1926	0.10		1932	0.04		1926	0.12	*
1927	0.08		1933	0.06		1927	0.07	
1928	0.08		1934	0.07		1928	0.07	
1929	0.09		1935	0.07		1929	0.07	
1930	0.09		1936	0.07		1930	0.06	
1931	0.08		1937	0.07		1931	0.06	
1932	0.03		1938	0.07		1932	0.04	
1933	0.05		1939	0.15		1933	0.05	
1934	0.08		1940	0.25		1934	0.06	
1935	0.09		1941	0.07		1935	0.06	
1936	0.09		1942	0.07		1936	0.07	
1937	0.09		1943	0.07		1937	0.07	
1938	0.09		1944	0.07		1938	0.07	
1939	0.16	0.25	1945	0.07		1939	0.13	
1939	0.09	*	1946	0.06		1940	0.16	0.19
1940	0.23	0.38	1947	0.06		1940	0.03	*
1940	0.08	*	1948	0.04		1941	0.08	
1940	0.08	*	1949	0.04		1942	0.08	
1941	0.11		1950	0.05		1943	0.08	
1942	0.09		1951	0.10		1944	0.08	
1943	0.09		1952	0.09		1945	0.09	
1944	0.09		1953	0.10		1946	0.05	
1945	0.10		1954	0.10		1947	0.04	
1946	0.04		1955	0.05		1948	0.07	
1947	0.04		1956	0.05		1949	0.08	
1948	0.06		1957	0.14		1950	0.08	
1949	0.06		1958	0.16		1951	0.12	0.16
1950	0.06		1959	0.16		1951	0.04	*
1951	0.13		1960	0.09		1952	0.09	
1952	0.12		1961	0.05		1953	0.09	0.14
1953	0.12		1962	0.06		1953	0.05	*
1954	0.09		1963	0.09		1954	0.09	
1955	0.09		1964	0.04		1955	0.09	
1956	0.10		1965	0.06		1956	0.09	
1957	0.16		1966	0.06		1957	0.15	

1958	0.25		0.32	1967	0.04		1958	0.18		0.24
1958	0.07	*		1968	0.06		1958	0.06	*	
1959	0.17		0.26	1969	0.06		1959	0.13		0.16
1959	0.09	*		1970	0.06		1959	0.04	*	
1960	0.11			1971	0.16		1960	0.09		
1961	0.10			1972	0.37		1961	0.09		
1962	0.10			1973	0.16		1962	0.10		
1963	0.12			1974	0.09		1963	0.11		0.14
1964	0.12			1975	0.05		1963	0.03	*	
1965	0.03			1976	0.12		1964	0.09		
1966	0.05			1977	0.11		1965	0.07		
1967	0.06			1978	0.10		1966	0.05		
1968	0.04			1979	0.10		1967	0.09		
1969	0.04			1980	0.10		1968	0.05		
1970	0.05			1981	0.10		1969	0.04		
1971	0.10		0.27	1982	0.16		1970	0.04		
1971	0.07	*		1983	0.31		1971	0.07		
1971	0.10	*		1984	0.16		1972	0.13		
1972	0.14			1985	0.12		1973	0.20	*	0.29
1973	0.29		0.46	1986	0.17		1973	0.09		
1973	0.08	*		1987	0.14		1974	0.10		
1973	0.09	*		1988	0.09		1975	0.10		
1974	0.12			1989	0.09		1976	0.12		
1975	0.10			1990	0.15		1977	0.12		
1976	0.13			1991	0.15		1978	0.12		0.17
1977	0.09		0.22	1992	0.21		1978	0.05	*	
1977	0.13	*		1993	0.14		1979	0.11		
1978	0.13			1994	0.06		1980	0.11		0.17
1979	0.14			1995	0.06		1980	0.06	*	
1980	0.13			1996	0.05		1981	0.04		
1981	0.10			1997	0.13		1982	0.13		
1982	0.15		0.22	1998	0.53		1983	0.32		0.54
1982	0.07	*		1999	0.22		1983	0.22	*	
1983	0.38		0.68	2000	0.14		1984	0.04		0.12
1983	0.10	*		2001	0.05		1984	0.09	*	
1983	0.10	*		2002	0.06		1985	0.04		
1983	0.10	*		2003	0.06		1986	0.11		0.15
1984	0.12			2004	0.12		1986	0.04	*	
1985	0.11			2005	0.11		1987	0.11		
1986	0.14			2006	0.03		1988	0.03		
1987	0.13			2007	0.04		1989	0.04		
1988	0.07			2008	0.11		1990	0.16		0.19
1989	0.07						1990	0.03	*	
1990	0.20						1991	0.21		
1991	0.26		0.33				1992	0.14		0.21
1991	0.07	*					1992	0.06	*	
1992	0.17						1993	0.15		0.22
1993	0.15						1993	0.08	*	

1994	0.05							1994	0.04		
1995	0.05							1995	0.02		
1996	0.05							1996	0.03		
1997	0.17							1997	0.13	0.19	
1998	0.27	0.50						1997	0.06	*	
1998	0.07	*						1998	0.29	0.38	
1998	0.08	*						1998	0.08	*	
1998	0.08	*						1999	0.10		
1999	0.10							2000	0.10		
2000	0.10							2001	0.10		
2001	0.06							2002	0.03		
2002	0.04							2003	0.03		
2003	0.05							2004	0.10		
2004	0.06							2005	0.10		
2005	0.14	0.22						2006	0.05	*	0.29
2005	0.08	*						2006	0.11		
2006	0.12	0.25						2006	0.04	*	
2006	0.13	*						2006	0.09	*	
2007	0.13	0.23						2007	0.11	0.25	
2007	0.10	*						2007	0.04	*	
2008	0.16							2007	0.11	*	
2008	0.10	*	0.26					2008	0.16	0.27	
								2008	0.11	*	

* Presencia de falso anillo

** suma de dos o más anillos consecutivos dentro de un año evaluado

ANEXO 3											
MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 3)											
Árbol 3/sección											
C1				C2				C3			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1905	0.09			1905	0.30			1905	0.21		
1906	0.17			1906	0.39			1906	0.27		
1907	0.05			1907	0.16			1907	0.10		
1908	0.05			1908	0.13			1908	0.10		
1909	0.05			1909	0.13			1909	0.07		
1910	0.06			1910	0.14			1910	0.07		
1911	0.16			1911	0.39			1911	0.22		
1912	0.16			1912	0.39			1912	0.20		
1913	0.03			1913	0.11			1913	0.07		
1914	0.05			1914	0.12			1914	0.07		
1915	0.05			1915	0.12			1915	0.08		
1916	0.06			1916	0.13			1916	0.08		

1917	0.12		1917	0.13		1917	0.53	
1918	0.12		1918	0.40		1918	0.19	
1919	0.16		1919	0.40		1919	0.60	
1920	0.15		1920	0.15		1920	0.10	
1921	0.05		1921	0.15		1921	0.09	
1922	0.05		1922	0.15		1922	0.09	
1923	0.06		1923	0.16		1923	0.10	
1924	0.11		1924	0.38		1924	0.43	
1925	0.18		1925	0.38		1925	0.94	
1926	0.07		1926	0.20		1926	0.12	
1927	0.07		1927	0.20		1927	0.12	
1928	0.08		1928	0.21		1928	0.07	
1929	0.06		1929	0.18		1929	0.07	
1930	0.06		1930	0.19		1930	0.07	
1931	0.06		1931	0.10		1931	0.07	
1932	0.04		1932	0.10		1932	0.06	
1933	0.06		1933	0.14		1933	0.08	
1934	0.06		1934	0.14		1934	0.30	
1935	0.06		1935	0.14		1935	0.30	
1936	0.06		1936	0.14		1936	2.30	
1937	0.06		1937	0.14		1937	0.19	
1938	0.11		1938	0.14		1938	0.34	
1939	0.11		1939	0.51		1939	0.41	
1940	0.20		1940	0.41		1940	0.24	
1941	0.07		1941	0.40		1941	0.33	
1942	0.07		1942	0.19		1942	0.33	
1943	0.07		1943	0.19		1943	0.55	
1944	0.07		1944	0.20		1944	0.10	
1945	0.07		1945	0.20		1945	0.32	
1946	0.04		1946	0.07		1946	0.17	
1947	0.05		1947	0.09		1947	0.17	
1948	0.08		1948	0.21		1948	0.32	
1949	0.05		1949	0.21		1949	0.32	
1950	0.05		1950	0.22		1950	0.21	
1951	0.10		1951	0.32		1951	0.14	
1952	0.09		1952	0.33		1952	0.54	
1953	0.11		1953	0.27		1953	0.13	
1954	0.08		1954	0.27		1954	0.11	
1955	0.08		1955	0.22		1955	0.11	
1956	0.08		1956	0.22		1956	0.12	
1957	0.10		1957	0.45		1957	0.17	
1958	0.27		1958	0.44		1958	0.22	
1959	0.12		1959	0.43		1959	0.87	
1960	0.12		1960	0.23		1960	0.10	
1961	0.09		1961	0.23		1961	0.10	
1962	0.09		1962	0.23		1962	0.10	
1963	0.11		1963	0.26		1963	0.13	
1964	0.11		1964	0.24		1964	0.10	
1965	0.06		1965	0.07		1965	0.04	
1966	0.08		1966	0.08		1966	0.06	

1967	0.09		1967	0.24		1967	0.09	
1968	0.08		1968	0.09		1968	0.05	
1969	0.08		1969	0.09		1969	0.05	
1970	0.06		1970	0.10		1970	0.04	
1971	0.10		1971	0.24		1971	0.10	
1972	0.10		1972	0.48		1972	0.78	
1973	0.30		1973	0.46		1973	0.45	
1974	0.12		1974	0.24		1974	0.11	
1975	0.13		1975	0.25		1975	0.11	
1976	0.13		1976	0.39		1976	0.14	
1977	0.13		1977	0.38		1977	0.14	
1978	0.10		1978	0.30		1978	0.58	
1979	0.10		1979	0.31		1979	0.13	
1980	0.10		1980	0.34		1980	0.57	
1981	0.10		1981	0.18		1981	0.08	
1982	0.12		1982	0.53		1982	0.17	
1983	0.33		1983	0.82	*	1.06	1983	1.10
1984	0.10		1983	0.24		1984	0.27	
1985	0.11		1984	0.24		1985	0.07	
1986	0.14		1985	0.29		1986	0.13	
1987	0.15		1986	0.29		1987	0.13	
1988	0.09		1987	0.18		1988	0.07	
1989	0.10		1988	0.17		1989	0.07	
1990	0.13		1989	0.53		1990	0.19	
1991	0.17		1990	0.68		1991	0.21	
1992	0.26		1991	0.51		1992	1.31	
1993	0.10		1992	0.55		1993	0.07	
1994	0.04		1993	0.11		1994	0.05	
1995	0.04		1994	0.10		1995	0.04	
1996	0.09		1995	0.17		1996	0.11	
1997	0.08		1996	0.54		1997	0.20	
1998	0.28		1997	0.63		1998	0.25	
1999	0.13		1998	0.17		1999	0.08	
2000	0.09		1999	0.17		2000	0.08	
2001	0.08		2000	0.17		2001	0.08	
2002	0.04		2001	0.05		2002	0.04	
2003	0.04		2002	0.08		2003	0.03	
2004	0.10		2003	0.10		2004	0.16	
2005	0.10		2004	0.36		2005	0.12	
2006	0.10		2005	0.26		2006	0.12	
2007	0.10		2006	0.26		2007	0.12	
2008	0.11		2007	0.17		2008	0.07	
			2008	0.17				

* Presencia de falso anillo

** suma de dos o más anillos consecutivos dentro de un año evaluado

ANEXO 4

MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 4)

Árbol 4/sección

D1				D2				D3				D4			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1950	0.29			1950	0.29			1950	0.18			1950	0.13		
1951	0.43			1951	0.26			1951	0.24			1951	0.18		
1952	0.32			1952	0.25			1952	0.12			1952	0.09		
1953	0.17			1953	0.25			1953	0.25			1953	0.18		
1954	0.28			1954	0.36			1954	0.12			1954	0.09		
1955	0.28			1955	0.38			1955	0.12			1955	0.09		
1956	0.28			1956	0.39			1956	0.12			1956	0.09		
1957	0.28			1957	0.50			1957	0.07	*	0.47	1957	0.08	*	0.38
1958	0.70			1958	0.51			1957	0.04	*		1957	0.03	*	
1959	0.67			1959	0.56			1957	0.36			1957	0.26		
1960	0.26			1960	0.22			1958	0.11	*	0.46	1958	0.08	*	0.34
1961	0.26			1961	0.24			1958	0.35			1958	0.26		
1962	0.26			1962	0.24			1959	0.13			1959	0.09		
1963	0.18			1963	0.43			1960	0.13			1960	0.10		
1964	0.30			1964	0.21			1961	0.14			1961	0.10		
1965	0.09			1965	0.10			1962	0.09			1962	0.07		
1966	0.13			1966	0.12			1963	0.14			1963	0.10		
1967	0.25			1967	0.25			1964	0.16			1964	0.12		
1968	0.22			1968	0.19			1965	0.12	*	0.56	1965	0.09	*	0.41
1969	0.21			1969	0.20			1965	0.10	*		1965	0.07	*	
1970	0.20			1970	0.20			1965	0.18	*		1965	0.13	*	
1971	0.51			1971	0.75			1965	0.16			1965	0.12		
1972	0.48			1972	0.68			1966	0.09			1966	0.07		
1973	0.70			1973	0.70			1967	0.13	*	0.46	1967	0.10	*	0.34
1974	0.27			1974	0.32			1967	0.17	*		1967	0.12	*	
1975	0.27			1975	0.34			1967	0.16			1967	0.12		
1976	0.22			1976	0.34			1968	0.06			1968	0.04		

1977	0.22		1977	0.47		1969	0.07		1969	0.05			
1978	0.23		1978	0.44		1970	0.07		1970	0.05			
1979	0.23		1979	0.46		1971	0.14	*	0.72	1971	0.11	*	0.53
1980	0.23		1980	0.44		1971	0.21	*		1971	0.16	*	
1981	0.34		1981	0.31		1971	0.36			1971	0.26		
1982	0.34		1982	0.60		1972	0.32			1972	0.23		
1983	1.02		1983	0.85		1973	0.06	*	0.39	1973	0.05	*	0.28
1984	0.36		1984	0.39		1973	0.32			1973	0.24		
1985	0.37		1985	0.40		1974	0.17			1974	0.13		
1986	0.24		1986	0.48		1975	0.15	*	0.44	1975	0.11	*	0.33
1987	0.24		1987	0.35		1975	0.11	*		1975	0.08	*	
1988	0.31		1988	0.36		1975	0.18			1975	0.13		
1989	0.31		1989	0.36		1976	0.19			1976	0.14		
1990	0.35		1990	0.66		1977	0.21	*	0.40	1977	0.16	*	0.30
1991	0.71		1991	0.67		1977	0.19			1977	0.14		
1992	0.66		1992	0.75		1978	0.20			1978	0.15		
1993	0.52		1993	0.66		1979	0.21			1979	0.15		
1994	0.17		1994	0.20		1980	0.21			1980	0.15		
1995	0.20		1995	0.20		1981	0.17	*	0.59	1981	0.12	*	0.44
1996	0.35		1996	0.24		1981	0.19	*		1981	0.14	*	
1997	0.34		1997	0.61		1981	0.23			1981	0.17		
1998	0.74		1998	0.84		1982	0.23			1982	0.17		
1999	0.63		1999	0.49		1983	0.11	*	0.69	1983	0.08	*	0.51
2000	0.38		2000	0.40		1983	0.20	*		1983	0.15	*	
2001	0.17		2001	0.43		1983	0.38			1983	0.28		
2002	0.15		2002	0.21		1984	0.16	*	0.35	1984	0.12	*	0.26
2003	0.16		2003	0.22		1984	0.19			1984	0.14		
2004	0.40		2004	0.47		1985	0.19			1985	0.14		
2005	0.39		2005	0.49		1986	0.10	*	0.58	1986	0.08	*	0.43
2006	0.14		2006	0.06		1986	0.22	*		1986	0.16	*	
2007	0.40		2007	0.43		1986	0.25			1986	0.19		
2008	0.19		2008	0.30		1987	0.18	*	0.44	1987	0.13	*	0.33
						1987	0.26			1987	0.19		

							1988	0.18			1988	0.13		
							1989	0.19			1989	0.14		
							1990	0.14			1990	0.10		
							1991	0.16			1991	0.11		
							1992	0.12	*	0.48	1992	0.09	*	0.36
							1992	0.36			1992	0.27		
							1993	0.31			1993	0.23		
							1994	0.07	*	0.55	1994	0.05	*	0.41
							1994	0.14	*		1994	0.10	*	
							1994	0.18	*		1994	0.13	*	
							1994	0.16			1994	0.12		
							1995	0.09			1995	0.07		
							1996	0.10			1996	0.07		
							1997	0.13	*	0.42	1997	0.10	*	0.31
							1997	0.29			1997	0.21		
							1998	0.25	*	0.62	1998	0.18	*	0.46
							1998	0.37			1998	0.27		
							1999	0.12	*	0.60	1999	0.09	*	0.44
							1999	0.14	*		1999	0.10	*	
							1999	0.34			1999	0.25		
							2000	0.34			2000	0.25		
							2001	0.17	*	0.45	2001	0.12	*	0.33
							2001	0.28			2001	0.20		
							2002	0.14	*	0.58	2002	0.10	*	0.43
							2002	0.20	*		2002	0.15	*	
							2002	0.24			2002	0.18		
							2003	0.09			2003	0.07		
							2004	0.26			2004	0.19		
							2005	0.27			2005	0.20		
							2006	0.25			2006	0.18		
							2007	0.25			2007	0.19		
							2008	0.36	*	0.60	2008	0.05	*	0.44
							2008	0.24			2008	0.39		

ANEXO 5
MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 5)

Árbol 5/sección

E1				E2				E3				E4			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1934	0.05			1934	0.07			1934	0.07			1934	0.07		
1935	0.07			1935	0.07			1935	0.07			1935	0.09		
1936	0.07			1936	0.10			1936	0.07			1936	0.09		
1937	0.07			1937	0.09			1937	0.07			1937	0.09		
1938	0.07			1938	0.09			1938	0.07			1938	0.09		
1939	0.26			1939	0.18			1939	0.09			1939	0.10		
1940	0.34			1940	0.14	*	0.35	1940	0.04	*	0.23	1940	0.05		0.28
1941	0.07			1940	0.20			1940	0.19			1940	0.23	*	
1942	0.09			1941	0.07	*	0.14	1941	0.08			1941	0.10		
1943	0.10			1941	0.07			1942	0.04	*	0.12	1942	0.05		0.15
1944	0.10			1942	0.08			1942	0.08			1942	0.10	*	
1945	0.05			1943	0.08			1943	0.08			1943	0.10		
1946	0.04			1944	0.08			1944	0.07			1944	0.09		
1947	0.09			1945	0.08			1945	0.08			1945	0.09		
1948	0.04			1946	0.05			1946	0.07			1946	0.08		
1949	0.08	*	0.41	1947	0.05			1947	0.07			1947	0.09		
1949	0.08	*		1948	0.06			1948	0.08			1948	0.10		
1949	0.08	*		1949	0.11		0.26	1949	0.05	*	0.17	1949	0.06		0.20
1949	0.17			1949	0.05	*		1949	0.11			1949	0.14	*	
1950	0.14			1949	0.10	*		1950	0.09			1950	0.11		
1951	0.15			1950	0.10			1951	0.09			1951	0.11		
1952	0.13			1951	0.11			1952	0.08			1952	0.10		
1953	0.15			1952	0.09			1953	0.06	*	0.19	1953	0.07		0.23
1954	0.13			1953	0.20			1953	0.13			1953	0.16	*	
1955	0.13			1953	0.11	*		1954	0.09			1954	0.10		
1956	0.18			1954	0.10			1955	0.09			1955	0.11		
1957	0.08	*	0.36	1955	0.10			1956	0.06	*	0.17	1956	0.07		0.21
1957	0.28			1956	0.10			1956	0.12			1956	0.14	*	
1958	0.08	*	0.46	1957	0.11	*	0.32	1957	0.06	*	0.25	1957	0.07		0.30
1958	0.38			1957	0.22			1957	0.19			1957	0.23	*	
1959	0.16			1958	0.21			1958	0.06	*	0.18	1958	0.07		0.22
1960	0.13			1959	0.21			1958	0.12			1958	0.15	*	
1961	0.14			1960	0.09			1959	0.06	*		1959	0.08		0.21
1962	0.13			1961	0.09			1959	0.12		0.19	1959	0.13	*	
1963	0.20			1962	0.06			1960	0.08			1960	0.09		
1964	0.12			1963	0.10			1961	0.08			1961	0.09		
1965	0.09	*	0.21	1964	0.10			1962	0.08			1962	0.09		
1965	0.13			1965	0.10		0.18	1963	0.06	*	0.16	1963	0.08		0.19
1966	0.14			1965	0.08	*		1963	0.09			1963	0.11	*	
1967	0.16			1966	0.06			1964	0.08			1964	0.09		
1968	0.05			1967	0.09			1965	0.07	*	0.21	1965	0.08		0.25

1969	0.17			1968	0.06			1965	0.14			1965	0.17	*	
1970	0.11			1969	0.07			1966	0.09			1966	0.10		
1971	0.09	*	0.38	1970	0.07			1967	0.07	*	0.19	1967	0.08		0.23
1971	0.28			1971	0.12	*	0.68	1967	0.12			1967	0.15	*	
1972	0.10	*	0.55	1971	0.55			1968	0.09			1968	0.10		
1972	0.45			1972	0.15	*	0.51	1969	0.07	*	0.19	1969	0.08		0.24
1973	0.11	*	0.40	1972	0.37			1969	0.13			1969	0.15	*	
1973	0.29			1973	0.14	*	0.54	1970	0.10			1970	0.12		
1974	0.09			1973	0.40			1971	0.07	*	0.33	1971	0.08	*	0.40
1975	0.11	*	0.28	1974	0.10			1971	0.07	*		1971	0.08	*	
1975	0.17			1975	0.14		0.24	1971	0.20			1971	0.24		
1976	0.13			1975	0.11	*		1972	0.06	*	0.18	1972	0.07		0.22
1977	0.11	*	0.35	1976	0.11			1972	0.12			1972	0.15	*	
1977	0.24			1977	0.18		0.29	1973	0.06	*	0.21	1973	0.08		0.25
1978	0.11			1977	0.11	*		1973	0.15			1973	0.18	*	
1979	0.11			1978	0.11			1974	0.09			1974	0.11		
1980	0.11			1979	0.12			1975	0.06	*	0.18	1975	0.07		0.22
1981	0.11	*	0.32	1980	0.12			1975	0.13			1975	0.15	*	
1981	0.21			1981	0.12			1976	0.11			1976	0.13		
1982	0.12		0.23	1982	0.12			1977	0.06	*	0.27	1977	0.07	*	0.33
1982	0.11	*		1983	0.12	*	1.31	1977	0.06	*		1977	0.08	*	
1983	0.11	*	0.87	1983	0.12	*		1977	0.15			1977	0.18		
1983	0.27	*		1983	0.12			1978	0.10			1978	0.12		
1983	0.49			1984	0.12			1979	0.10			1979	0.12		
1984	0.15			1985	0.12			1980	0.10			1980	0.12		
1985	0.07			1986	0.12	*	0.26	1981	0.05	*	0.21	1981	0.07		0.26
1986	0.11	*	0.31	1986	0.12			1981	0.16			1981	0.19	*	
1986	0.20			1987	0.12			1982	0.14			1982	0.17		
1987	0.19			1988	0.12			1983	0.06	*	0.65	1983	0.07		0.78
1988	0.09			1989	0.12			1983	0.06	*		1983	0.07	*	
1989	0.09			1990	0.12			1983	0.54			1983	0.65	*	
1990	0.19			1991	0.12			1984	0.11			1984	0.13		
1991	0.09			1992	0.12	*	0.39	1985	0.11			1985	0.13		
1992	0.31			1992	0.12			1986	0.05	*	0.22	1986	0.06		0.25
1993	0.29			1993	0.12			1986	0.16			1986	0.18	*	
1994	0.13	*	0.35	1994	0.12	*	0.25	1987	0.13			1987	0.13		
1994	0.22			1994	0.12			1988	0.12			1988	0.15		
1995	0.06			1995	0.12			1989	0.09			1989	0.11		
1996	0.14			1996	0.12			1990	0.10			1990	0.12		
1997	0.23			1997	0.12	*	0.43	1991	0.10			1991	0.13		
1998	0.15	*	0.62	1997	0.12			1992	0.05	*	0.23	1992	0.06		0.28
1998	0.46			1998	0.12	*	0.72	1992	0.18			1992	0.22	*	
1999	0.14	*		1998	0.12			1993	0.11			1993	0.13		
1999	0.17		0.31	1999	0.12	*	0.25	1994	0.08	*	0.25	1994	0.10		0.30
2000	0.14			1999	0.12			1994	0.17			1994	0.21	*	
2001	0.14	*	0.30	2000	0.12			1995	0.07			1995	0.08		
2001	0.16			2001	0.12	*	0.26	1996	0.11			1996	0.13		
2002	0.23			2001	0.12			1997	0.18			1997	0.22		
2003	0.22			2002	0.12	*	0.21	1998	0.05	*	0.40	1998	0.06		0.49
2004	0.20			2002	0.12			1998	0.36			1998	0.43	*	

2005	0.11			2003	0.12			1999	0.18			1999	0.22		
2006	0.04			2004	0.12	*	0.24	2000	0.07			2000	0.08		
2007	0.09			2004	0.12			2001	0.17			2001	0.20		
2008	0.14	*	0.36	2005	0.12			2002	0.03	*	0.18	2002	0.04		0.19
2008	0.22			2006	0.12			2002	0.14			2002	0.15	*	
				2007	0.12			2003	0.13			2003	0.16		
				2008	0.12	*	0.28	2004	0.09			2004	0.12		
				2008	0.12			2005	0.09			2005	0.11		
								2006	0.02			2006	0.10		
								2007	0.09			2007	0.10		
								2008	0.03	*	0.15	2008	0.05		0.18
								2008	0.11			2008	0.13	*	

* Presencia de falso anillo

** suma de dos o más anillos consecutivos dentro de un año evaluado

ANEXO 6															
MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 6)															
Árbol 6/sección															
F1				F2				F3				F4			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1931	0.10			1931	0.10			1931	0.14			1931	0.14		
1932	0.04			1932	0.07			1932	0.05			1932	0.09		
1933	0.10			1933	0.08			1933	0.10			1933	0.12		
1934	0.11			1934	0.10			1934	0.11			1934	0.10		
1935	0.09			1935	0.10			1935	0.27			1935	0.27		
1936	0.13			1936	0.08			1936	0.12			1936	0.11		
1937	0.09			1937	0.08			1937	0.14			1937	0.12		
1938	0.11			1938	0.09			1938	0.15			1938	0.14		
1939	0.17			1939	0.14			1939	0.37			1939	0.27		
1940	0.34			1940	0.15			1940	0.33			1940	0.30		
1941	0.06			1941	0.09			1941	0.15			1941	0.13		
1942	0.06			1942	0.09			1942	0.11			1942	0.12		
1943	0.07			1943	0.09			1943	0.12			1943	0.12		
1944	0.07			1944	0.09			1944	0.12			1944	0.11		
1945	0.05			1945	0.09			1945	0.09			1945	0.08		
1946	0.07			1946	0.07			1946	0.09			1946	0.08		
1947	0.08			1947	0.07			1947	0.07			1947	0.07		
1948	0.09			1948	0.08			1948	0.05			1948	0.05		
1949	0.18			1949	0.14			1949	0.12	*	0.32	1949	0.12	*	0.29
1950	0.13			1950	0.10			1949	0.20			1949	0.17		
1951	0.13			1951	0.13			1950	0.18			1950	0.20		
1952	0.13			1952	0.10			1951	0.19			1951	0.18		
1953	0.18			1953	0.13			1952	0.15			1952	0.14		

1954	0.12		1954	0.10		1953	0.21		1953	0.19			
1955	0.11		1955	0.11		1954	0.19		1954	0.17			
1956	0.16		1956	0.19		1955	0.19		1955	0.18			
1957	0.34		1957	0.14		1956	0.15		1956	0.16			
1958	0.23		1958	0.14		1957	0.37		1957	0.35			
1959	0.23		1959	0.13		1958	0.10	*	0.45	1958	0.04	*	0.37
1960	0.06		1960	0.11		1958	0.35			1958	0.33		
1961	0.11		1961	0.11		1959	0.28			1959	0.25		
1962	0.06		1962	0.10		1960	0.07			1960	0.07		
1963	0.10		1963	0.11		1961	0.18			1961	0.17		
1964	0.06		1964	0.16		1962	0.05			1962	0.05		
1965	0.19		1965	0.22		1963	0.16			1963	0.15		
1966	0.17		1966	0.16		1964	0.17			1964	0.16		
1967	0.24		1967	0.15		1965	0.11	*	0.32	1965	0.11	*	0.30
1968	0.05		1968	0.19		1965	0.21			1965	0.20		
1969	0.19		1969	0.12		1966	0.17			1966	0.16		
1970	0.14		1970	0.10		1967	0.20			1967	0.19		
1971	0.10		1971	0.19		1968	0.15			1968	0.14		
1972	0.34		1972	0.24		1969	0.20			1969	0.18		
1973	0.20		1973	0.24		1970	0.19			1970	0.18		
1974	0.14		1974	0.11		1971	0.08	*	0.49	1971	0.38		
1975	0.25		1975	0.11		1971	0.40			1972	0.13	*	0.50
1976	0.11		1976	0.19		1972	0.13	*	0.53	1972	0.38		
1977	0.32		1977	0.22		1972	0.40			1973	0.28		
1978	0.11		1978	0.19		1973	0.30			1974	0.15		
1979	0.06		1979	0.10		1974	0.16			1975	0.21		
1980	0.06		1980	0.10		1975	0.23			1976	0.12		
1981	0.25		1981	0.18		1976	0.12			1977	0.11	*	0.34
1982	0.23		1982	0.15		1977	0.12	*	0.36	1977	0.23		
1983	0.37		1983	0.34		1977	0.24			1978	0.15		
1984	0.21		1984	0.16		1978	0.16			1979	0.12		
1985	0.14		1985	0.10		1979	0.13			1980	0.08		
1986	0.25		1986	0.20		1980	0.08			1981	0.09	*	0.28
1987	0.11		1987	0.18		1981	0.09	*	0.30	1981	0.20		
1988	0.08		1988	0.19		1981	0.21			1982	0.15		
1989	0.06		1989	0.19		1982	0.16			1983	0.14	*	0.54
1990	0.08		1990	0.16		1983	0.15	*	0.58	1983	0.41		
1991	0.05		1991	0.10		1983	0.43			1984	0.23		
1992	0.34		1992	0.20		1984	0.25			1985	0.18		
1993	0.21		1993	0.18		1985	0.20			1986	0.21		
1994	0.30		1994	0.21		1986	0.22			1987	0.18		
1995	0.08		1995	0.15		1987	0.19			1988	0.13		
1996	0.13		1996	0.07		1988	0.13			1989	0.08		
1997	0.20		1997	0.16		1989	0.09			1990	0.13		
1998	0.36		1998	0.34		1990	0.13			1991	0.11		

1999	0.29		1999	0.18		1991	0.12			1992	0.11	*	0.45
2000	0.20		2000	0.16		1992	0.12	*	0.47	1992	0.33		
2001	0.28		2001	0.22		1992	0.35			1993	0.29		
2002	0.27		2002	0.15		1993	0.31			1994	0.24		
2003	0.26		2003	0.22		1994	0.26			1995	0.12		
2004	0.15		2004	0.22		1995	0.13			1996	0.12		
2005	0.08		2005	0.11		1996	0.13			1997	0.32		
2006	0.03		2006	0.06		1997	0.34			1998	0.08	*	0.61
2007	0.10		2007	0.13		1998	0.09	*	0.64	1998	0.12	*	
2008	0.16		2008	0.19		1998	0.12	*		1998	0.41		
						1998	0.43			1999	0.19	*	0.55
						1999	0.20	*	0.59	1999	0.36		
						1999	0.39			2000	0.13		
						2000	0.13			2001	0.24	*	0.60
						2001	0.26	*	0.64	2001	0.36		
						2001	0.38			2002	0.26		
						2002	0.27			2003	0.12		
						2003	0.13			2004	0.12		
						2004	0.13			2005	0.08		
						2005	0.09			2006	0.04		
						2006	0.05			2007	0.10		
						2007	0.11			2008	0.16	*	0.41
						2008	0.17	*	0.43	2008	0.25		
						2008	0.26						

* Presencia de falso anillo

** suma de dos o más anillos consecutivos dentro de un año Evaluado

ANEXO 7															
MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 7)															
Árbol 7/sección															
G1				G2				G3				G4			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1945	0.05			1945	0.09			1945	0.08			1945	0.12		
1946	0.04			1946	0.05			1946	0.07			1946	0.11		
1947	0.09			1947	0.05			1947	0.08			1947	0.11		
1948	0.05			1948	0.06			1948	0.08			1948	0.13		
1949	0.08	*	0.42	1949	0.12	*	0.28	1949	0.06	*	0.18	1949	0.08	*	0.27
1949	0.08	*		1949	0.05	*		1949	0.12			1949	0.18		
1949	0.08	*		1949	0.1			1950	0.1			1950	0.14		
1949	0.18			1950	0.11			1951	0.1			1951	0.14		
1950	0.14			1951	0.11			1952	0.09			1952	0.14		
1951	0.15			1952	0.09			1953	0.2		0.24	1953	0.22	*	0.29
1952	0.13			1953	0.21	*	0.32	1953	0.04	*		1953	0.08		

1953	0.15			1953	0.11			1954	0.09			1954	0.14		
1954	0.13			1954	0.11			1955	0.09			1955	0.14		
1955	0.13			1955	0.11			1956	0.06	*	0.18	1956	0.08	*	0.28
1956	0.18			1956	0.11			1956	0.12			1956	0.2		
1957	0.08	*	0.36	1957	0.12	*	0.35	1957	0.06	*	0.26	1957	0.1	*	0.4
1957	0.28			1957	0.23			1957	0.2			1957	0.3		
1958	0.09	*	0.47	1958	0.22			1958	0.06	*	0.19	1958	0.1	*	0.29
1958	0.39			1959	0.23			1958	0.13			1958	0.2		
1959	0.16			1960	0.1			1959	0.06	*	0.19	1959	0.1	*	0.28
1960	0.13			1961	0.1			1959	0.12			1959	0.19		
1961	0.15			1962	0.07			1960	0.08			1960	0.12		
1962	0.13			1963	0.11			1961	0.08			1961	0.12		
1963	0.21			1964	0.11			1962	0.08			1962	0.12		
1964	0.13			1965	0.1	0.19		1963	0.07	*	0.17	1963	0.1	*	0.25
1965	0.09	*	0.22	1965	0.09	*		1963	0.1			1963	0.15		
1965	0.13			1966	0.06			1964	0.08			1964	0.12		
1966	0.15			1967	0.1			1965	0.07	*	0.22	1965	0.08	*	0.31
1967	0.16			1968	0.07			1965	0.15			1965	0.22		
1968	0.05			1969	0.07			1966	0.09			1966	0.14		
1969	0.18			1970	0.08			1967	0.07	*	0.2	1967	0.08	*	0.27
1970	0.11			1971	0.13	*	0.72	1967	0.13			1967	0.19		
1971	0.1	*	0.39	1971	0.59			1968	0.09			1968	0.14		
1971	0.29			1972	0.15	*	0.55	1969	0.07	*	0.21	1969	0.11	*	0.31
1972	0.1	*	0.56	1972	0.39			1969	0.13			1969	0.2		
1972	0.46			1973	0.15	*		1970	0.1			1970	0.15		
1973	0.11	*	0.41	1973	0.43			1971	0.07	*	0.35	1971	0.07	*	0.49
1973	0.3			1974	0.11			1971	0.07	*		1971	0.11	*	
1974	0.09			1975	0.15	0.26		1971	0.21			1971	0.31		
1975	0.11	*	0.29	1975	0.11	*		1972	0.06	*	0.19	1972	0.11	*	0.31
1975	0.18			1976	0.12			1972	0.13			1972	0.19		
1976	0.13			1977	0.2	0.31		1973	0.07	*	0.22	1973	0.33		
1977	0.11	*	0.36	1977	0.12	*		1973	0.16			1974	0.15		
1977	0.24			1978	0.12			1974	0.1			1975	0.09	*	0.29
1978	0.12			1979	0.12			1975	0.06	*	0.2	1975	0.2		
1979	0.12			1980	0.13			1975	0.14			1976	0.17		
1980	0.12			1981	0.13			1976	0.12			1977	0.09	*	0.44
1981	0.11	*	0.32	1982	0.14			1977	0.06	*	0.29	1977	0.1	*	
1981	0.21			1983	0.12	*	1.4	1977	0.07	*		1977	0.24		
1982	0.12		0.24	1983	0.16	*		1977	0.16			1978	0.16		
1982	0.11	*		1983	1.11			1978	0.11			1979	0.16		
1983	0.12	*	0.39	1984	0.14			1979	0.11			1980	0.16		
1983	0.28	*		1985	0.14			1980	0.11			1981	0.09	*	0.34
1983	0.5			1986	0.11	*	0.27	1981	0.06	*	0.22	1981	0.25		
1984	0.15			1986	0.16			1981	0.17			1982	0.23		
1985	0.07			1987	0.16			1982	0.15			1983	0.09	*	1.04
1986	0.12	*	0.32	1988	0.15			1983	0.06	*	0.69	1983	0.09	*	
1986	0.2			1989	0.15			1983	0.06	*		1983	0.86		

1987	0.19			1990	0.25			1983	0.57			1984	0.17		
1988	0.09			1991	0.27			1984	0.11			1985	0.17		
1989	0.09			1992	0.11	*	0.42	1985	0.11			1986	0.08	*	0.34
1990	0.19			1992	0.3			1986	0.06	*	0.23	1986	0.26		
1991	0.09			1993	0.24			1986	0.17			1987	0.21		
1992	0.32			1994	0.13	*	0.27	1987	0.14			1988	0.2		
1993	0.3			1994	0.14			1988	0.13			1989	0.15		
1994	0.13	*	0.36	1995	0.07			1989	0.1			1990	0.16		
1994	0.22			1996	0.16			1990	0.11			1991	0.17		
1995	0.06			1997	0.11	*	0.45	1991	0.11			1992	0.08	*	0.38
1996	0.14			1997	0.34			1992	0.05	*	0.25	1992	0.3		
1997	0.24			1998	0.09	*	0.76	1992	0.2			1993	0.17		
1998	0.16	*	0.63	1998	0.67			1993	0.11			1994	0.13	*	0.4
1998	0.47			1999	0.1	*	0.26	1994	0.08	*	0.27	1994	0.27		
1999	0.14	*	0.31	1999	0.17			1994	0.18			1995	0.11		
1999	0.17			2000	0.18			1995	0.07			1996	0.17		
2000	0.15			2001	0.1	*	0.27	1996	0.12			1997	0.29		
2001	0.14	*	0.31	2001	0.17			1997	0.19			1998	0.08	*	0.65
2001	0.17			2002	0.05	*	0.22	1998	0.05	*	0.43	1998	0.57		
2002	0.23			2002	0.16			1998	0.38			1999	0.29		
2003	0.23			2003	0.08			1999	0.19			2000	0.11		
2004	0.2			2004	0.08	*	0.26	2000	0.07			2001	0.26		
2005	0.11			2004	0.18			2001	0.18			2002	0.06	*	0.28
2006	0.04			2005	0.18			2002	0.04	*	0.19	2002	0.22		
2007	0.1			2006	0.04			2002	0.15			2003	0.22		
2008	0.15	*	0.37	2007	0.1			2003	0.14			2004	0.15		
2008	0.22			2008	0.12	*	0.29	2004	0.1			2005	0.15		
				2008	0.18			2005	0.1			2006	0.03		
								2006	0.02			2007	0.15		
								2007	0.1			2008	0.06	*	0.23
								2008	0.04	*	0.16	2008	0.18		
								2008	0.12						

* Presencia de falso anillo

** suma de dos o más anillos consecutivos dentro de un año evaluado

ANEXO 8											
MATRIX GENERAL DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS (ÁRBOL 8)											
Árbol 8/sección											
H1				H2				H3			
Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**	Años	Ancho (mm)	*	**
1925	0.54		0.70	1925	0.38		0.67	1925	0.19		0.34
1925	0.16	*		1925	0.29	*		1925	0.15	*	
1926	0.23			1926	0.50			1926	0.25		
1927	0.19			1927	0.29			1927	0.15		
1928	0.19			1928	0.29			1928	0.14		

1929	0.19		1929	0.29		1929	0.14	
1930	0.19		1930	0.21		1930	0.13	
1931	0.18		1931	0.17		1931	0.13	
1932	0.06		1932	0.10		1932	0.09	
1933	0.11		1933	0.17		1933	0.11	
1934	0.18		1934	0.18		1934	0.12	
1935	0.19		1935	0.18		1935	0.13	
1936	0.20		1936	0.19		1936	0.14	
1937	0.20		1937	0.19		1937	0.14	
1938	0.21		1938	0.19		1938	0.14	
1939	0.35	0.55	1939	0.41		1939	0.26	*
1939	0.20	*	1940	0.68		1939	0.34	
1940	0.52	0.85	1941	0.19		1940	0.06	*
1940	0.17	*	1942	0.19		1940	0.17	*
1940	0.17	*	1943	0.20		1940	0.17	
1941	0.24		1944	0.20		1941	0.17	
1942	0.21		1945	0.19		1942	0.18	
1943	0.21		1946	0.16		1943	0.18	
1944	0.21		1947	0.17		1944	0.11	
1945	0.21		1948	0.12		1945	0.09	
1946	0.08		1949	0.12		1946	0.15	
1947	0.09		1950	0.12		1947	0.16	
1948	0.13		1951	0.28		1948	0.16	
1949	0.13		1952	0.23		1949	0.25	
1950	0.14		1953	0.27		1950	0.08	
1951	0.29		1954	0.27		1951	0.18	
1952	0.26		1955	0.14		1952	0.19	
1953	0.27		1956	0.15		1953	0.11	
1954	0.20		1957	0.39		1954	0.19	
1955	0.20		1958	0.43		1955	0.19	
1956	0.22		1959	0.43		1956	0.19	
1957	0.35		1960	0.25		1957	0.32	
1958	0.56	0.72	1961	0.14		1958	0.38	*
1958	0.16	*	1962	0.16		1958	0.12	
1959	0.38	0.57	1963	0.24		1959	0.26	*
1959	0.19	*	1964	0.12		1959	0.19	
1960	0.25		1965	0.15		1960	0.19	
1961	0.23		1966	0.16		1961	0.20	
1962	0.22		1967	0.11		1962	0.22	
1963	0.27		1968	0.16		1963	0.18	
1964	0.26		1969	0.16		1964	0.15	
1965	0.07		1970	0.16		1965	0.10	
1966	0.10		1971	0.44		1966	0.19	
1967	0.14		1972	0.99		1967	0.10	
1968	0.08		1973	0.44		1968	0.09	
1969	0.09		1974	0.25		1969	0.09	
1970	0.10		1975	0.14		1970	0.15	
1971	0.22	0.59	1976	0.32		1971	0.27	*

1971	0.16	*		1977	0.30		1971	0.42		
1971	0.22	*		1978	0.27		1971	0.18	*	
1972	0.32			1979	0.27		1972	0.22		
1973	0.63		1.01	1980	0.27		1973	0.22	*	0.70
1973	0.19	*		1981	0.26		1973	0.24	*	
1973	0.19	*		1982	0.43		1973	0.24		
1974	0.26			1983	0.84		1974	0.25		
1975	0.23			1984	0.44		1975	0.11	*	
1976	0.29			1985	0.33		1976	0.24		
1977	0.20		0.49	1986	0.47		1977	0.24		0.36
1977	0.28	*		1987	0.37		1977	0.12	*	
1978	0.29			1988	0.25		1978	0.08		
1979	0.30			1989	0.25		1979	0.27		
1980	0.29			1990	0.40		1980	0.67		
1981	0.22			1991	0.40		1981	0.45		
1982	0.33		0.48	1992	0.57		1982	0.08		0.25
1982	0.16	*		1993	0.37		1982	0.18		
1983	0.85		1.50	1994	0.15		1983	0.08	*	0.61
1983	0.22	*		1995	0.15		1983	0.23	*	
1983	0.22	*		1996	0.14		1983	0.08	*	
1983	0.22	*		1997	0.35		1983	0.23		
1984	0.25			1998	1.42		1984	0.07		
1985	0.25			1999	0.59		1985	0.07		
1986	0.31			2000	0.37		1986	0.33		
1987	0.29			2001	0.14		1987	0.07		
1988	0.15			2002	0.15		1988	0.43		
1989	0.15			2003	0.15		1989	0.29		
1990	0.43			2004	0.32		1990	0.13		
1991	0.57		0.73	2005	0.29		1991	0.30		0.46
1991	0.16	*		2006	0.07		1991	0.16	*	
1992	0.37			2007	0.10		1992	0.08		
1993	0.32			2008	0.31		1993	0.04		
1994	0.10				24.54		1994	0.07		
1995	0.11						1995	0.28		
1996	0.11						1996	0.13		
1997	0.37						1997	0.60		
1998	0.60		1.10				1998	0.17	*	0.79
1998	0.16	*					1998	0.20	*	
1998	0.17	*					1998	0.20	*	
1998	0.17	*					1998	0.21		
1999	0.23						1999	0.07		
2000	0.23						2000	0.07		
2001	0.14						2001	0.21		
2002	0.08						2002	0.21		
2003	0.11						2003	0.10		
2004	0.13						2004	0.22		
2005	0.30		0.49				2005	0.09	*	0.28
2005	0.19	*					2005	0.19		
2006	0.26		0.54				2006	0.22	*	0.30

2006	0.28	*						2006	0.08		
2007	0.29		0.52					2007	0.04	*	0.37
2007	0.22	*						2007	0.33		
2008	0.36		0.59					2008	0.22		
2008	0.22	*									

* Presencia de falso anillo

** suma de dos o más anillos consecutivos dentro de un año evaluado

ANEXO 9

Información Meteorológica de la Estación de Ferreñafe, Región

Lambayeque

Años	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
1948	26.19	17.18	21.69	1.70
1949	26.63	16.50	21.57	38.30
1950	25.84	14.73	20.29	15.50
1951	27.00	16.91	21.95	16.80
1952	26.68	16.45	21.56	12.10
1953	26.83	16.93	21.88	23.90
1954	25.48	15.69	20.59	13.80
1955	26.03	15.80	20.91	16.80
1956	25.94	16.38	21.16	20.70
1957	27.23	17.61	22.42	63.20
1958	26.50	17.07	21.78	39.40
1959	26.53	16.81	21.67	23.00
1960	26.98	17.01	22.00	1.00
1961	27.28	17.18	22.23	12.00
1962	26.53	16.89	21.71	-
1963	25.15	15.62	20.38	22.10
1964	24.88	16.75	20.81	14.20
1965	27.08	19.02	23.05	40.80
1966	25.83	17.43	21.63	14.90
1967	25.12	16.89	21.00	22.90
1968	25.03	16.84	20.93	5.20
1969	26.74	18.86	22.80	23.70
1970	25.39	17.19	21.29	14.20
1971	25.34	17.12	21.23	101.80
1972	27.65	20.04	23.85	81.80
1973	25.50	17.44	21.47	37.00
1974	25.43	17.24	21.34	12.30
1975	25.30	17.08	21.19	35.10
1976	27.20	19.14	23.17	11.30
1977	26.79	18.51	22.65	84.80
1978	26.18	17.63	21.90	12.70
1979	26.24	18.23	22.24	9.30
1980	26.26	18.16	22.21	5.10
1981	25.53	17.27	21.40	29.60
1982	26.71	18.73	22.72	14.80

1983	28.77	21.51	25.14	350.20
1984	25.34	17.76	21.55	19.20
1985	23.98	16.99	20.49	13.10
1986	25.10	17.79	21.45	25.60
1987	26.81	19.39	23.10	16.30
1988	24.72	17.42	21.07	9.80
1989	24.50	17.51	21.00	7.10
1990	25.38	18.10	21.74	8.70
1991	25.47	19.17	22.32	4.90
1992	26.25	20.20	23.23	43.50
1993	25.93	19.92	22.93	16.20
1994	24.99	18.92	21.95	33.10
1995	25.12	19.23	22.18	8.20
1996	24.58	16.38	20.48	12.60
1997	29.03	20.68	24.85	38.60
1998	27.42	19.49	23.45	279.40
1999	25.35	16.99	21.17	56.40
2000	25.51	17.42	21.46	20.10
2001	25.13	17.40	21.27	76.80
2002	26.46	18.17	22.31	45.40
2003	25.48	17.38	21.43	23.30
2004	25.98	17.46	21.72	20.40
2005	27.25	18.82	23.03	5.50
2006	25.80	17.75	21.78	-
2007	23.91	16.63	20.27	7.40
2008	25.01	18.02	21.51	39.80
2009	25.08	18.00	21.54	23.00
2010	24.48	17.31	20.89	44.70

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología:
Código de Estación: CO: Latitud: 06°38'00"
0" S; Longitud: 79°48'00"W y Altitud: 37 m.s.n.m.