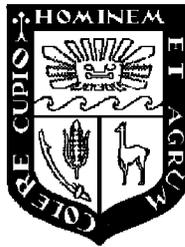


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Aplicación de la dendrocronología para  
evaluar la influencia de la precipitación y  
la temperatura en el crecimiento de  
*Tectona grandis* L.f. procedente del  
Fundo Génova - Junín**

*Tesis para optar el Título de*  
**INGENIERO FORESTAL**

**Claudia Chela Zúñiga Carrillo**

Lima – Perú  
**2012**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. CLAUDIA CHELA ZÚÑIGA CARRILLO, intitulado “APLICACIÓN DE LA DENDROCRONOLOGÍA PARA EVALUAR LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO DE TECTONA GRANDIS L.F. PROCEDENTE DEL FUNDO GÉNOVA - JUNÍN”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de .....

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 23 de Enero de 2012

.....  
Ing. Moisés Acevedo Mallque

Presidente

.....  
Ing. Neptalí Bustamante Guillén  
Miembro

.....  
Ing. Kethy Martínez Castro  
Miembro

.....  
Ing. Manuel Chavesta Custodio  
Patrocinador

.....  
Ing. Ignacio Lombardi Indacochea  
Co-patrocinador

## *RESUMEN*

En las últimas décadas la dendrocronología ha permitido estudiar la relación entre la tasa de crecimiento de las especies forestales con la anatomía del árbol, la influencia de las variaciones climáticas y fenológicas. La presente investigación pretende aplicar el análisis dendrocronológico en árboles de *Tectona grandis* (“Teca”) para la obtención de información registrada en el leño sobre el crecimiento de árboles y su relación con factores externos como temperatura y precipitación en plantaciones forestales, demostrando la evidencia de la naturaleza anual en la formación del anillo de crecimiento, correlacionando los factores de temperatura y precipitación y determinando cuál de éstas variables es la que tiene mayor influencia en el crecimiento además establecer la edad y tasa de crecimiento de los árboles de “Teca” en plantaciones. Para el presente estudio se colectaron 31 árboles de “Teca” de la plantación ubicada en el Fundo la Génova, Distrito de San Ramón, en la Región Junín, Perú.

Se utilizó el barreno Pressler para extraer las muestras radiales del fuste. Se prepararon las muestras para el análisis dendrocronológico por medio de los anillos de crecimiento, determinándose la edad de los árboles y el ancho de los anillos, previo sincronizado mediante la utilización de los programas COFECHA, ARSTAN, RESPO, determinando la influencia de las variables climáticas en la formación del ancho de los anillos; habiéndose encontrado que la edad de los árboles es de 25 años; siendo la precipitación, la variable climática que más influye en el incremento del fuste de los árboles, principalmente al inicio de la estación de lluvias (Diciembre – Febrero); por lo que la “Teca” es de gran potencial para reconstrucciones climáticas.

# ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	VIIVIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1 <i>TECTONA GRANDIS</i> L. F.....	2
2.1.1 <i>Distribución geográfica</i> .....	2
2.1.2 <i>Descripción botánica</i> .....	3
2.1.3 <i>Descripción Anatómica</i> .....	4
2.1.4 <i>Usos de la especie</i> .....	5
2.1.5 <i>Estrategia de Conservación y Utilización de <i>Tectona grandis</i></i> .....	6
2.2 ANILLOS DE CRECIMIENTO Y FACTORES QUE INFLUYEN EN SU FORMACION .....	7
2.2.1 <i>Periodicidad de formación de anillos en Bosques Tropicales</i> .....	10
2.3 LA DENDROCROLOGÍA .....	11
2.3.1 <i>El Clima y su Relación con la Dendrocronología (Dendroclimatología)</i> .....	12
2.3.2 <i>La Estacionalidad y su Relación con la Dendrocronología</i> .....	14
2.3.3 <i>Potencialidad de la Especie <i>Tectona grandis</i> para Estudios Dendrocronológicos</i> .....	15
2.3.4 <i>La Dendrocronología como Estimación del Crecimiento de Árboles</i> .....	15
2.3.5 <i>Principales Métodos y Técnicas de Datación en Zonas Tropicales</i> .....	17
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
3.1 SELECCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.....	19
3.1.1 <i>Selección del Área de Muestreo</i> .....	20
3.2 DEMARCACIÓN, COLECCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE <i>TECTONA GRANDIS</i> .....	21
3.3 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS SERIES METEOROLÓGICAS .....	24
3.4 ANÁLISIS DENDROCRONOLOGICO DE LA ESPECIE <i>TECTONA GRANDIS</i> .....	25
3.4.1 <i>Preparación de las Muestras de Madera</i> .....	25
3.4.2 <i>Medición y Sincronización (CO-FECHADO) de los Anillos de Crecimiento</i> .....	26
3.4.3 <i>Elaboracion de la Serie maestra y Cronología en los Anillos de Crecimiento de la Especie <i>Tectona grandis</i></i> .....	29
3.5 DETERMINACION DE LA ANUALIDAD EN LA FORMACION DE ANILLOS DE CRECIMIENTO .....	34
3.6 RESPUESTA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES: ANÁLISIS DENDROCLIMATOLÓGICO .....	34
3.7 ANÁLISIS DENDROECOLÓGICO DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO: .....	35
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>36</b>
4.1 ANÁLISIS DE LAS SERIES METEOROLÓGICAS.....	36
4.2 ANÁLISIS DENDROCRONOLOGICO DE LA ESPECIE <i>TECTONA GRANDIS</i> .....	37
4.2.1 <i>Sincronización (CO-FECHADO) de los Anillos de Crecimiento (Control de calidad de las series de los anillos de crecimiento)</i> .....	37
4.2.2 <i>Obtención de la Cronología en la Especie <i>Tectona grandis</i></i> .....	42
4.2.3 <i>Determinacion de la Anualidad en la Formacion de Anillos de Crecimiento</i> .....	44
4.2.4 <i>Análisis Dendroclimatológico</i> .....	46

4.2.5	<i>Análisis Dendroecológico de las Series Cronológicas de los Anillos de Crecimiento</i> .....	53
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>65</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>66</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>67</b>
	<b>ANEXO 1</b> .....	<b>79</b>
	<b>VARIABLES METEOROLÓGICAS ESTACIÓN “SAN RAMÓN”</b> .....	<b>79</b>
	<b>ANEXO 2</b> .....	<b>81</b>
	<b>VARIABLES METEOROLÓGICAS ESTACIÓN “SATIPO”</b> .....	<b>81</b>

## *Lista de cuadros*

	Página
<b>CUADRO 1</b> RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DE LAS SERIES EJECUTADAS PARA “TECA” POR EL PROGRAMA COFECHA.....	40
<b>CUADRO 2</b> INTER-CORRELACIÓN DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS A PARTIR DE LOS ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO PARA LA ESPECIE “TECA” .....	41
<b>CUADRO 3</b> INTER-CORRELACIÓN DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS DE LOS ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO.....	45
<b>CUADRO 4:</b> COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON PARA LA RELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE LOS ANCHOS DE LOS ANILLOS DE “TECA” (CRONOLOGÍAS MÁSTER), VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MM) Y TEMPERATURAS MEDIAS (°C) .....	50
<b>CUADRO 5</b> ECUACIONES DE CRECIMIENTO POR CLASE DIAMÉTRICA PARA “TECA” EN FUNDO LA GÉNOVA.....	58
<b>CUADRO 6</b> VALORES DE TASAS DE CRECIMIENTO SEGÚN CLASE DIAMÉTRICA.....	59

## Lista de figuras

Página

<b>FIGURA 1</b> PAÍSES DE ORIGEN DE LA “TECA” (INDIA, MYANMAR, TAILANDIA Y LAOS). ADAPTADO DE: IBGE, 2011 .2	.2
<b>FIGURA 2</b> MUESTRA BOTÁNICA DE <i>TECTONA GRANDIS</i> L.F. FIELD MUSEUM OF NATURAL HISTORY, CHICAGO USA.4	.4
<b>FIGURA 3</b> UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO. CAMPO DE EXPERIMENTACIÓN IRD FUNDO LA GÉNOVA.....19	19
<b>FIGURA 4</b> DISTRIBUCIÓN DE LOS BLOQUES DE LA PLANTACIÓN Y ÁREAS DE “TECA” EN EL FUNDO LA GÉNOVA - UNALM.....20	20
<b>FIGURA 5</b> DISTRIBUCIÓN DE ÁRBOLES SELECCIONADOS DEL BLOQUE 1 .....22	22
<b>FIGURA 6</b> A Y B: MUESTREO CON SONDA PRESSLER, C, D Y E: EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA “TECA” Y F: EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN CAMPO .....23	23
<b>FIGURA 7</b> HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LAS ESTACIONES DE SAN RAMÓN Y SATIPO. FUENTE: SENAHMI,.....24	24
<b>FIGURA 8</b> A: SOPORTES Y MUESTRAS EN SORBETES PLÁSTICOS, B Y C: P EPARACIÓN DE MUESTRAS Y MONTAJE EN SOPORTES DE MADERA Y D: UBICACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA MUESTRA .....25	25
<b>FIGURA 9</b> A: CODIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS, B: TOTAL DE MUESTRAS MONTADAS Y CODIFICADAS, C Y D: LUJADO DE LAS MUESTRAS .....26	26
<b>FIGURA 10</b> A: MARCACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO, B: COMPROBACIÓN DE MARCACIÓN EN EL ESTEREOSCOPIO, C: SINCRONIZACIÓN VISUAL DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO Y D: ESCANEADO DE LAS MUESTRAS. ....27	27
<b>FIGURA 11</b> SERIES METEOROLÓGICAS DE DOS ESTACIONES METEOROLÓGICAS: ESTACIÓN DE SAN RAMÓN Y SATIPO .....36	36
<b>FIGURA 12</b> VARIABILIDAD DEL ANCHO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO (ANCHOS Y ESTRECHOS) EN “TECA” .....37	37
<b>FIGURA 13</b> SERIES DEL ANCHO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO CON SEÑAL COMÚN (SUPERIOR) .....38	38
<b>FIGURA 14</b> SERIE MAESTRA OBTENIDA POR LOS ÍNDICES EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO CON EL PROGRAMA COFECHA Y NÚMERO DE MUESTRAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO EN ÁRBOLES DE “TECA”.....39	39
<b>FIGURA 15</b> CRONOLOGÍA MÁSTER DE LOS ÁRBOLES DE “TECA”.....43	43
<b>FIGURA 16</b> FORMACIÓN ANUAL DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE “TECA”. DONDE A: AÑO 2009 (MUESTRA TESTIGO), B: AÑO 2010, C: AÑO 2010, D: AÑO 2011 .....44	44
<b>FIGURA 17:</b> CORRELACIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO EN EL ÚLTIMO AÑO DE FORMACIÓN.....46	46
<b>FIGURA 18</b> CORRELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN MEDIA (MM).Y LA SERIE CRONOLÓGICA “CRON A” (ÍNDICE) EN ÁRBOLES DE “TECA” .....47	47
<b>FIGURA 19</b> CORRELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA (°C).Y LA SERIE CRONOLÓGICA “CRON A” (ÍNDICE) EN ÁRBOLES DE “TECA” .....48	48
<b>FIGURA 20</b> RELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN EN (MM) Y LA SERIE CRONOLÓGICA “CRON A”(ÍNDICE) DE LOS ÁRBOLES DE “TECA” PARA TRES PERIODOS. ....49	49
<b>FIGURA 21</b> CORRELACIONES ENTRE LOS ÍNDICES DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES DE “TECA” CON LAS VARIABLES CLIMÁTICAS (TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL), DE LA REGIÓN PARA LA PLANTACIÓN. ....51	51
<b>FIGURA 22:</b> HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE ÁRBOLES QUE PERTENECEN A LA CRONOLOGÍA OBTENIDA .....54	54
<b>FIGURA 23:</b> INCREMENTOS Y CRONOLOGÍA DE LOS ÁRBOLES DE “TECA”: A Y C: INCREMENTO EN CM DE LAS CLASES DIAMÉTRICAS DE 10-20 Y DE 20 – 30 OBTENIDOS. B Y D: INCREMENTO EN CM DE LAS CLASES DIAMÉTRICAS DE 10-20 Y DE 20 – 30 ANALIZADOS.....55	55
<b>FIGURA 24</b> REGRESIÓN LINEAL DE LOS INCREMENTOS EN DIÁMETRO CON LA EDAD DE LA PLANTACIÓN PARA DOS CLASES DIAMÉTRICAS .....57	57
<b>FIGURA 25</b> EVOLUCIÓN DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO POR CLASES DIAMÉTRICAS POR INTERVENCIÓN SILVICULTURAL.....59	59
<b>FIGURA 26</b> HISTOGRAMA DE NÚMERO DE ÁRBOLES POR AÑO QUE PRESENTAN FALSOS ANILLOS POR CAMBIO DE TASA DE CRECIMIENTO .....60	60
<b>FIGURA 27</b> RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN (MM) Y LA SERIE CRONOLÓGICA “CRON A” DE LOS ÁRBOLES DE “TECA” .....61	61

<b>FIGURA 28:</b> RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA (°C), PRECIPITACIÓN (MM) Y LOS MESES EN LOS AÑOS DE CAMBIO DE TASA.....	62
<b>FIGURA 29</b> FORMACIÓN Y PRESENCIA DE FALSOS ANILLOS DE CRECIMIENTO EN EL MES DE NOVIEMBRE EN LOS AÑOS 1999, 2001 Y 2006.....	64

## 1. INTRODUCCIÓN

La *Tectona grandis* no ha sido evaluada dendrocronológicamente en el país, a pesar de ser considerada potencial para estudios de tasas de crecimiento. En el Caribe, América Latina y Asia se han realizado varios estudios con ésta especie en plantaciones. También en Acre (Brasil), el manejo de “Teca” se realiza en plantaciones puras o asociadas con especies nativas, la cual ha sido considerada una especie promisoría debido a su importancia económica, calidad de madera, trabajabilidad y diseño. La existencia de escasos estudios dendrocronológicos en el Perú y la importancia de la aplicación de dichos estudios como alternativa para la determinación de la estacionalidad y tasas de crecimiento, hace posible la obtención de datos sobre crecimiento de árboles en plantaciones.

Si se evalúa el crecimiento a través de los anillos de crecimiento en plantaciones forestales se puede obtener datos sobre el ritmo de crecimiento de las especies tanto en diámetro como en altura, además de información, como calidad de sitio, influencia de la exposición solar, raleos, etc. Este registro natural es una fuente de datos importantes para definir el plan silvicultural, que hasta entonces no tenía un seguimiento; siendo posible la evaluación del crecimiento de “Teca” a través del análisis de fuste.

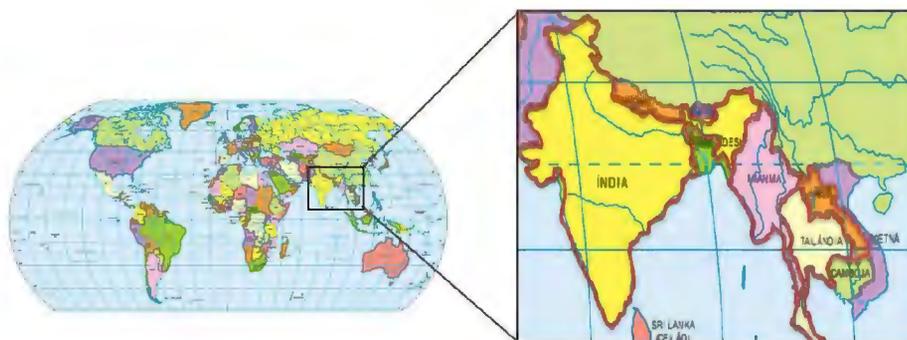
Actualmente existen en el Fundo IRD – Selva – “La Génova” (1200 Msnm) plantaciones experimentales de esta especie, las cuales se dividen en 4 bloques por lo que para el presente estudio los individuos analizados pertenecen al bloque 1, las cuales no se han realizado monitoreos y no existen datos anuales de crecimiento ni de las intervenciones silviculturales realizadas durante el desarrollo de los árboles. Por ello, el monitoreo y datos de crecimiento anual y periódicos de “Teca” en el Perú resulta ser valioso e importante para el manejo forestal de ésta especie para futuras investigaciones, además que ayudaría en la determinación de tasas de crecimiento de otras especies forestales.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 *TECTONA GRANDIS* L. F.

#### 2.1.1 *Distribución Geográfica*

La “Teca” es una especie latifoliada perteneciente a la familia Verbenaceae, especie originaria de Birmania, península de la India, al oeste de Tailandia e Indonesia. Los bosque naturales de “Teca” se encuentran en la región de Asia – Pacífico, entre la latitud 12°N y 25°N y la longitud 73° E a 104° E. También se le ha encontrado al sur del Ecuador, en Java y algunas pequeñas islas del Archipiélago Indonesio (Cháves y Fonseca, 1991), comprendiendo regiones por debajo de los 1000 m de altitud, en un área aproximada de 23 millones de hectáreas en la India, Laos, Myanmar y Tailandia, Bhat y Ma (2004). Según los mismos autores, cerca de un tercio de los bosques naturales de “Teca” (8.9 millones de hectáreas) se encuentran en la India (Figura 1). Aunque para Beard (1943) y el Grupo de Tecnología Apropiada (1984) la especie fue introducida en Java, donde se naturalizó.



**Figura 1** Países de origen de la “Teca” (India, Myanmar, Tailandia y Laos). Adaptado de: IBGE, 2011

La primera vez que la especie fue introducida fuera de Asia, ocurrió en Nigeria en 1902. En América la primera plantación de “Teca” fue en Trinidad y Tobago en el año 1913, Keogh (1979). Esta especie ha sido ampliamente distribuida, exportándose semilla de Trinidad a

Belice, República Dominicana, Jamaica, Costa Rica, Cuba, Colombia, Venezuela, Haití, Puerto Rico, Ecuador, Guayana Francesa y México. También se han establecido plantaciones en Brasil, Perú, El Salvador y Honduras, entre otros. Cháves y Fonseca (1991)

### 2.1.2 Descripción Botánica

**Nombre Común:** El nombre común más conocido, en la mayoría de los países donde se ha introducido la especie, es “Teca”; así como “Teak” en inglés. En la India, se le conoce como “Sagun”, “Sagon”, “Saguan”, “Skhu”, “Toak”, “Shilp tru”, “Indian oak”.

**Nombre Científico:** *Tectona grandis* L.f.

**Familia:** Verbenaceae

En su lugar de origen el árbol es grande, decíduo, puede alcanzar más de 50 m de altura y 2 m de diámetro. En América Central, alcanza alturas superiores a los 30 m. Es un árbol de fuste recto, con corteza áspera y delgada (12mm), fisurada, de color café claro que se desprende en placas grandes y delgadas; sin olor ni sabor característico. Chaves y Fonseca (1991)

Las hojas son opuestas, grandes, de 11 a 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, con peciolo gruesos, limbos membranáceos o subcoriáceos, nervios prominentes en ambas caras. Flores de cáliz campanulado, color amarillo verdoso, estilo blanco amarillento, más o menos pubescente, con pelos ramificados. Chaves y Fonseca (1991) (Figura 2).



**Figura 2** Muestra botánica de *Tectona grandis* L.f. Field Museum of Natural History, Chicago USA

El fruto es subgloboso, más o menos tetrágono, aplanado; exocarpo delgado, algo carnoso cuando fresco y tomentoso; endocarpo grueso. Con respecto a la floración se da en los meses de junio a setiembre y la producción de frutos al inicio del verano, de febrero a abril. La “Teca” normalmente presenta entre 800 y 1780 frutos por kilogramo. La semilla de algunas procedencias presenta una latencia pronunciada, en estos casos el almacenamiento durante un año, mejora con frecuencia el porcentaje de germinación. FAO (1977)

### 2.1.3 Descripción Anatómica

Macroscópicamente es posible visualizar en la madera de “Teca” su semi-porosidad en el anillo, formada por poros grandes y numerosos en el leño inicial; pequeños y escasos en el leño

tardío, Oliveira (2011). El parénquima puede ser observado a simple vista, en bandas terminales de tipo paratraqueal vasicéntrico, con coloración más claras que las fibras. Los radios son medianos y son relativamente escasos. Microscópicamente, los vasos tienen un diámetro tangencial que varía de 190 a 300  $\mu\text{m}$ , longitudinalmente los elementos vasculares poseen alrededor de 209 a 418  $\mu\text{m}$  de longitud. Las placas de perforación son simples y muy inclinadas, con puntuaciones intervasculares ovaladas y alternas, Govaere *et al* (2003), citado por Oliveira (2011)

La albura es amarillenta blanquizca, el duramen es de color café oscuro. La madera de “Teca” es fina, moderadamente dura, pesada cualidad muy apreciada para diversos usos, es una madera que contiene sílice, con una densidad básica de 0,61 a 0,69  $\text{gr/cm}^3$ , fácil de trabajar, secar y preservar; su durabilidad natural es buena y tiene buena estabilidad dimensional. Tiene un aceite antiséptico que la hace muy resistente la protege del ataque de diversos organismos Por las características anteriores y por su belleza, se considera una de las especies más valiosas del mundo. Cháves y Fonseca (1991)

#### 2.1.4 Usos de la Especie

En cuanto al uso de la especie la madera de “Teca” es usada en construcciones navales, puentes, postes, muebles y carpintería en general, enchapado y contrachapado, madera para parquet y duela utilizados en la fabricación de barriles para guardar productos químicos. Peña (1981)

La calidad de la madera es buena razón principal para su plantación. Además de la durabilidad y la estabilidad, la madera también es muy resistente a las termitas, perforadores marinos y otros insectos, y tiene un alto valor en el mercado internacional cuyos precios son mucho más altos que la Caoba, Veit (1996). Otros aspectos cualitativos que se destacan son el diseño, color y densidad que hacen que la madera de “Teca” sea valorada actualmente en el mundo. Vieira *et al.* (2002).

La creciente demanda de madera de “Teca” va en aumento, de acuerdo con el análisis del mercado, debido a mejores condiciones de vida en los países en desarrollo, junto con la reducción del suministro de otras maderas tropicales que se producen en las áreas naturales y la conciencia ambiental de los consumidores, que muestra el carácter de las plantaciones de “Teca” para convertirse en inversiones altamente rentables. Se estima que la superficie plantada con “Teca” en el mundo es más de 3 millones de hectáreas. Centeno (2001).

En 1993 se comercializaron 3,5 millones de metros cúbicos y aun así, la demanda mundial no ha sido atendida totalmente, (Dupuy y Verhaegen, 1993). Los principales mercados consumidores de ésta madera son Sudáfrica, Francia, Inglaterra, Estados Unidos, Dinamarca, Holanda y China, y también algunos países de Medio Oriente (Ríos, 2007).

#### 2.1.5 *Estrategia de Conservación y Utilización de **Tectona grandis***

La especie destaca como una buena alternativa financiera para la producción de madera en plantaciones comerciales en los trópicos. Las plantaciones son una importante fuente potencial de suministros de madera para reducir el desnivel entre la oferta y la demanda de “Teca” en los países asiáticos. En Myanmar la superficie de plantaciones de “Teca” es de 139 000 ha, lo que hace de las plantaciones un importante complemento de los suministros procedentes de bosques nativos. Krishnapillay (2000)

Tailandia tiene una fuerte dependencia de importaciones de “Teca” de plantación para su industria del mueble en rápido crecimiento y orientada a la exportación. Ésta industria da empleo a unas 400000 personas, consigue ingresos de la exportación de alrededor de 400 millones de dólares a EE.UU. y desde 1945, en conjunción con diseños y técnicas de manufactura escandinavos, ha hecho mucho para popularizar los muebles de “Teca” en todo el mundo. Krishnapillay (2000)

Las plantaciones indonesias de “Teca” se encuentran principalmente en Java y exceden 700000 ha. La producción de las plantaciones javanesas de “Teca” alimenta actualmente una industria

del mueble en rápida expansión, cuyos productos se encaminan más a mercados de exportación. Krishnapillay (2000)

La India es uno de los mayores productores de “Teca” en el mundo, pero la oferta no basta para cubrir la demanda nacional. Por ello se examina la importancia creciente de las inversiones en plantaciones forestales en la India, tanto como la participación de las industrias forestales en el establecimiento de plantaciones, así como para cubrir sus necesidades de materia prima. Las plantaciones podrían sin duda contribuir al suministro de madera y otros productos maderables y ayudar al mismo tiempo a aumentar la cubierta forestal del país. Balooni (2000)

## 2.2 ANILLOS DE CRECIMIENTO Y FACTORES QUE INFLUYEN EN SU FORMACION

Los anillos de crecimiento se dan como consecuencia del crecimiento radial, originado por el cambium formando xilema secundario durante el periodo de crecimiento. A nivel anatómico el cambium produce elementos de mayor diámetro en primavera (Leño primavera) y de menor diámetro y paredes más gruesas en invierno (Leño verano); la actividad de todo el año forma un anillo de crecimiento. Rosero (2011)

En regiones de clima templado, donde las especies que predominan son las gimnospermas, los anillos de crecimiento en general representan el incremento anual de los árboles. Contrariamente al concepto clásico del área forestal y dendrocronológico, Worbes (1995), Devall *et al.* (1995), y otros autores han presentado pruebas convincentes de la formación anual de los anillos de crecimiento en algunas especies tropicales.

En los trópicos hay un predominio de maderas de angiospermas, y los anillos de crecimiento pueden ser destacados por diferentes patrones en las características anatómicas de la madera, Oliveira (2011), proporcionándoles una mayor complejidad y variación en la formación de capas de crecimiento. En muchos árboles tropicales y subtropicales como la “Teca”, los anillos correspondientes a los períodos de lluvia y de sequías, inundaciones, caída de las hojas y / o

simplemente dormancia, pueden ocurrir dos o más ciclos en un año, por lo que los anillos de crecimiento de este modo, no son necesariamente anuales en algunas especies tropicales. Botosso y Mattos (2002)

El crecimiento del leño del árbol se ve influenciado por periodos secos y húmedos necesarios para la formación de los tejidos del xilema clasificados como inicial o de primavera (tejido formado en la época de lluvias) y tardío (tejido formado en la estación seca).

La “Teca” se ha plantado con fines comerciales en el trópico cálido, especialmente en áreas inferiores a los mil metros de elevación sobre el nivel del mar, Briscoe (1995). En Centro América uno de los factores limitantes para el crecimiento de “Teca” es la altitud por encima de los 1000 Msnm; además los autores encontraron la altitud como un factor ambiental que mostró diferencias en la estimación indirecta del índice de sitio, presentando los más altos rendimientos por debajo de los 100 Msnm, (Chávez y Fonseca, 1991). Esta especie requiere una elevación de no más de 1300 Msnm. Además requiere una estación seca bien definida, en los lugares donde se distribuye naturalmente, que comprende de tres a siete meses, con una precipitación media anual que va de los 760 a 5,000 mm y una temperatura media anual de 21° a 28° C. Lamprecht (1990)

Lo óptimo para la especie es al menos contar con 4 meses secos con menos de 60 mm de precipitación, con precipitaciones medias entre 1,250 y 3,750 mm al año y temperaturas medias anuales entre 22° y 27° C, (Bacilieri *et al*, 1998). Así mismo Briscoe (1995), reporta que esta especie ha sido plantada en áreas con precipitaciones superiores a los 1000 mm por año. Para Centro América, los factores más relacionados con la estimación indirecta del índice de sitio parecen ser los ambientales, específicamente la precipitación; definiendo en gran medida el crecimiento de la especie, ya que los mayores incrementos se producen en sitios con una variación entre 2500 a 3000 mm por año. La elevación al parecer es otro factor importante para la especie, ya que bajo los 100 Msnm. es donde se han encontrado los mejores rendimientos. Chaves y Fonseca (1991)

Las características de sitio no son las únicas que definen la productividad de una plantación forestal, también influyen factores externos de planificación en el momento del establecimiento, como la procedencia de la semilla, la calidad de planta, preparación del suelo

antes del establecimiento de la plantación, labores culturales de limpieza de la plantación, aplicación de fertilizantes, labores silviculturales ejecutadas a tiempo, entre otras. Montero *et al* (2001)

Para Costa Rica la precipitación y la temperatura media anual son importantes para el crecimiento de “Teca”, además del déficit hídrico; encontró también que los mejores sitios se encuentran en terrenos planos a pendientes inferiores en contraposición de pendientes medias y cimas. Algunas de las variables fisiográficas, edáficas y climáticas tienen relación con el índice de sitio, para el cálculo de la calidad de sitio por el método indirecto en Costa Rica. Las variables que mostraron estar relacionadas fueron déficit hídrico, temperatura media anual, resistencia a la penetración y el contenido de agua a una profundidad menor a 0.20 m. Montero *et al* (2001)

Otro estudio similar se encontró que las variables que más tienen relación con el índice de sitio son el déficit hídrico, precipitación media anual, posición topográfica y profundidad del suelo como variables del sitio y el contenido de calcio (Ca) y de hierro (Fe) en Costa Rica. Al siguiente año, evaluando el crecimiento de “Teca” en la provincia de Guanacaste (Costa Rica) encontraron que los mejores crecimientos estaban asociados a un aumento de la precipitación media anual. Además en su condición natural se presenta en diversos tipos de suelos, pero su mejor desarrollo se da en suelos franco-arenosos a arcillosos, fértiles, bien drenados y profundos y con pH entre 5,0 a 8,5. Vásquez y Ugalde (1994)

La “Teca”, por ser una especie decidua, es bastante citada en la literatura como una especie potencial en la demarcación de anillos anuales, siendo favorable para su aplicación en estudios dendrocronológicos. Shaha *et al* (2007); Tomazello y Cardoso (1999).

Las formas para reconocer los anillos de crecimiento en latifoliadas, pueden destacarse por determinadas características anatómicas, tales como: Según Grosser (1977) citado por Rosero (2011)

- Presencia de una faja de células parenquimáticas en los límites de los anillos de crecimiento (parénquima marginal) que aparecen como una línea tenue de tejido más claro. Ejemplo: *Liriodendron tulipifera* (Magnoliaceae), *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae).

- Alargamiento de los radios en los límites de los anillos de crecimiento (aspecto solo visible bajo microscopio). Ejemplo: *Liriodendron tulipifera* (Magnoliaceae), *Balfourodendron riedelianum* (Rutaceae).
- Concentración o mayor dimensión de los poros al inicio del período vegetativo (leño temprano) y mucho más pequeños y generalmente menos numerosos -o sea más compactos con fibras de paredes gruesas- al final del año de crecimiento (leño tardío). Este tipo de conformación es también llamada madera de porosidad circular. Ejemplo: *Catalpa bignonioides* (Bignoniaceae), *Cedrela fissilis* (Meliaceae).

### 2.2.1 Periodicidad de Formación de Anillos en Bosques Tropicales

El inicio y cese del crecimiento periódico se manifiesta en los árboles mediante características estructurales, que se reflejan en incrementos del tejido de la madera (xilema) del tallo. En plantas leñosas, el cambium vascular se activa durante la temporada de crecimiento, formando xilema hacia el interior y floema hacia el exterior. En climas templados, si estos cambios son anuales, se le nombra anillo de crecimiento anual y se asocian al fotoperiodo o al cambio en temperatura. En contraste, en las regiones tropicales y subtropicales, muchos de estos anillos son formados por una alternancia de temporadas secas y de lluvias. López *et al* (2006)

Para conocer la periodicidad de formación de los anillos en árboles tropicales, se usan métodos como “Ventanas de Mariaux”, y marcas con alfileres. Estos métodos se caracterizan porque dañan el cambium vascular y dejan una marca en la madera con fechas conocidas que se corroboran mediante observaciones macro o microscópicas al obtener una sección transversal completa o parcial del fuste. De ésta manera se determina si el anillo se formó durante un año. Citado por Rosero, 2011.

### 2.3 LA DENDROCRONOLOGÍA

La palabra Dendrocronología proviene del griego "**Dendro**" que significa "árbol", "**Cronos**" que significa "tiempo " y "**logos**" que significa "ciencia o conocimiento". Por lo tanto, es el campo de la Ciencia Forestal que se centra en el estudio de los anillos de crecimiento o capas de madera y su relación con la edad de los árboles, incluyendo la aplicación de la información registrada en su estructura para estudios ambientales y de historia, Tomazello *et al.* (2001). Según Fritts (1976) es la disciplina que estudia, registra y reconstruye los fenómenos meteorológicos, los incendios forestales, actividad volcánica, entre otras características en los anillos de crecimiento de los árboles.

La dendrocronología reúne una gran cantidad de datos de alto valor para la toma de decisiones en la gestión forestal, como los registros de crecimiento, caracterización y seguimiento de los volúmenes de madera producida, así como la estimación de la biomasa y el CO<sub>2</sub> fijado en la madera, siendo una fuente de información importante acerca de su calidad que permite la observación de su heterogeneidad, su formación y defectos. Reconoce los estudios de autoecología, la evaluación o la respuesta de las actividades silvícolas y la reconstrucción de los fenómenos meteorológicos, y otros. Según Fritts (1976), dendrocronología tiene su aplicación en múltiples eventos ambientales estudiados por las diferentes disciplinas como la dendroclimatología, dendroecología, dendroclimatografía, dendrohidrología, dendrogeomorfología, dendrosismología, dendroglaciología, dendroarqueología, entre otros, considerados los más explotados por el campo científico. Rosero (2009)

La dendrocronología consiste en el fechado de eventos pasados a través del estudio de los anillos de crecimiento. Las variables de los anillos de crecimiento, por ejemplo proporción de madera temprana y tardía, pueden ser medidas y registradas como series en el tiempo. Aunque el patrón de crecimiento en los árboles puede estar afectado por factores exógenos y endógenos, la variabilidad climática deja huellas distintivas en las serie de anillos de crecimiento de los árboles, Tomazello *et al.* (2001).

### 2.3.1 El Clima y su Relación con la Dendrocronología (Dendroclimatología)

La existencia de los anillos de crecimiento fue observada hace muchos años, y los primeros informes se hicieron en la Antigua Grecia. Ya en el siglo XVI, Leonardo Da Vinci reconoció la relación entre los anillos de crecimiento y el clima en árboles de *Pinus* de la región de Toscana (Italia). Señaló que los anillos de crecimiento permiten estimar el número de años, y en función de su ancho indica los años más o menos secos. Además en regiones de clima templado, los anillos de crecimiento representan, generalmente, el incremento anual de los árboles. Cada año aparece un nuevo anillo en el fuste, razón por la cual son denominados anillos anuales. Su conteo permite determinar la edad del individuo. Botosso y Mattos (2002)

Los métodos dendrocronológicos son útiles para los estudios históricos, ecológicos y climáticos; señalando que la variación inter e intra-anual en la formación de la madera de muchas especies es predominantemente correlacionada con los factores climáticos, como temperatura y precipitación. En consecuencia, el análisis de los anillos de crecimiento para aplicaciones dendroecológicas es más exitoso para sitios con una fuerte variación de los parámetros de la meteorología. Además el análisis de correlación entre la precipitación y el ancho de las zonas de incremento en el xilema de *Swietenia* y *Cedrela* mostró que la diferente disponibilidad de agua entre los años causó al menos una parte de la varianza del incremento anual en ambas especies, encontrándose correlaciones significativas entre las precipitaciones al inicio y al final del crecimiento y el ancho de las zonas de incremento en el xilema de *Swietenia macrophylla*. Dunish *et al.* (2003)

Inicialmente la dendrocronología se centró en los estudios del clima. El descubrimiento de los ciclos estacionales de crecimiento de las especies tropicales y subtropicales encontró en la dendrocronología una herramienta prometedora para el estudio de la estructura y sobre todo la dinámica de los bosques; sin embargo, el número de especies conocidas potencialmente para investigaciones dendrocronológicas es todavía pequeño, especialmente cuando se compara con la inmensa biodiversidad de estos ecosistemas, Gonçalves (2007). De acuerdo con Fritts (1976), la dendrocronología es uno de los métodos fundamentales para determinar la variabilidad climática posible en el tiempo.

Otra área de aplicación de la dendrocronología es la dendroclimatología cuyo principio básico es la búsqueda de las correlaciones de los datos del clima y los anillos anuales. Este principio puede indicar el factor limitante en el crecimiento de un árbol dado en una región determinada. Gonçalves (2007), indica que la sensibilidad de las especies de árboles a factores como el suelo y condiciones climáticas, permiten cambios de temperatura, humedad, radiación solar, entre otros, que se registrarán en los anillos de crecimiento.

En 1971, Fritts desarrolló los principales métodos aplicados a la dendroclimatología, entre ellos el de la selección de los árboles, que se encuentren en sitios donde se limita el ancho de los anillos, directa o indirectamente por el estrés causado por las variables climáticas. Los requerimientos para realizar análisis dendrocronológicos de las variaciones del clima, son los siguientes:

- 1-*Muestreo*: Especies forestales que presenten los anillos de crecimiento periódicos, así como también la selección de sitios donde los árboles presenten una mayor sensibilidad a los factores climáticos;
- 2-*Medición y análisis de crecimiento*: Las etapas de medición y análisis de las secuencias de crecimiento deben hacerse con mucha precisión, ya que permitirán un análisis de los patrones de crecimiento y la secuencia temporal;
- 3-*Sincronización y datación (crossdating)*: El crossdating es un proceso clave en los estudios dendrocronológicos y consiste básicamente en la identificación y corrección de las irregularidades en la cronología, como heridas, anillos múltiples, anillos discontinuos y / o ausentes;
- 4-*Estandarización o padronización*: La Estandarización analiza la variabilidad común de las secuencias datadas del crecimiento, que generalmente provienen de árboles de diferentes edades.

En este sentido, los trabajos se han dirigido a estudiar las correlaciones entre los factores climáticos y el incremento anual de los árboles. La importancia de los estudios dendroclimatológicos, es la posibilidad de entender y predecir los efectos de factores climáticos sobre el crecimiento del árbol a través de la construcción y / o reconstrucciones climáticas de la

serie y la respuesta de la planta, y por lo tanto, la influencia del clima en la calidad de la madera formada. Oliveira (2011)

### 2.3.2 *La Estacionalidad y su Relación con la Dendrocronología*

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

La carencia de estacionalidad en tópicos por temperatura no permite inducir dormancia, ya que, su fluctuación es relativamente uniforme a través del año, además la temperatura del día excede la fluctuación anual. Solo en el caso que la variación estuviera por debajo del promedio y la temperatura más baja estuviera cerca de los 0°C la inactividad tenderá a ocurrir, Salisbury y Ross (1994). Este tipo de variación puede ocurrir en zonas del subtropical con grandes altitudes (Córdova, 2003). Cabe resaltar también que en regiones tropicales la estacionalidad puede favorecer tanto como desfavorecer el crecimiento dependiendo del grado de sensibilidad o respuesta del individuo al medio y la intensidad de los factores que intervienen en su desarrollo Worbes (1995); Rosero (2011).

### 2.3.3 Potencialidad de la Especie *Tectona grandis* para Estudios Dendrocronológicos

Se construyó cronologías de 180 años para *Tectona grandis* y *Cedrela toona* en el sureste de la India, Bhattacharyya *et al.*, (1992), citado por Schweingruber (1996),

Algunos autores señalan que en Tailandia se han realizado estudios de dendrocronología con *Pinus kesiya*, *P. merkussi* y *Tectona grandis*; estableciendo cronologías en las especies, las cuales abarcan desde los años 1647 hasta 1993 para *Pinus merkussi*, D'Arrigo *et al.*, (1997) citado por Campos (2009). En la última década ha habido un incremento notorio en investigaciones dendrocronológicas en Sudamérica, en Brasil, Tomazello (2006); Bolivia, Brienen y Zuidema (2005(a)); Brienen y Zuidema (2006) y Perú, Rosero (2009). Recientemente el estudio elaborado por Oliveira (2011), evidenció la variabilidad de los anillos de crecimiento respecto al ancho de los anillos, indicando la sensibilidad de los árboles de "Teca" respecto a las condiciones ambientales, donde se pudo realizar el análisis dendrocronológico de la especie.

### 2.3.4 La Dendrocronología como Estimación del Crecimiento de Árboles

Debido a la urgente necesidad de información sobre la autoecología de árboles de maderas tropicales, los enfoques dendroecológicos ofrecen la oportunidad de estudiar la relación de entrada exógena y la formación de madera a través del análisis de las series cronológicas. Dunish *et al.* (2003)

Se emplearon técnicas de análisis de imágenes aplicadas al análisis del fuste para estudiar las variaciones verticales y laterales del promedio del ancho de los anillos en *Pinus taeda*, Tassisa y Burkhart (1997). Así mismo, Rosot *et al* (2001) y Doetzer *et al*, (2003) aplicaron la misma técnica para la especie *Araucaria angustifolia* y *Pinus ellioti* respectivamente probando la viabilidad de la técnica. Por otro lado, estudios en especies tropicales han dado buenos resultados en este tipo de aplicación; así, *Cedrelinga cateniformis*, presentó resultados satisfactorios pues correlacionan positivamente las evaluaciones realizadas en parcelas

permanentes y la influencia en el crecimiento del fuste, con las condiciones climáticas (Vetter y Botosso, 1989). También, Campos (2009) confirmó éstos resultados en Jenaro Herrera, perteneciente a la Amazonia peruana.

Los raleos aplicados en plantaciones de *Pinus elliottii* tienen un efecto significativo sobre el tamaño de los árboles, tanto en diámetro como en altura, además la plantación al tener bajos niveles de densidad, presenta valores altos de crecimiento individual. También cabe resaltar que el raleo aplicado aumenta el espacio potencial de crecimiento individual, permitiendo que el mismo se refleje en el desarrollo de copa, a través de la dimensión de sus ramas. (Rebottaro y Cabrelli, 2007).

La información sobre las edades de los árboles y tasas de crecimiento es crucial para entender la dinámica de las poblaciones de árboles y desarrollar sistemas sostenibles de gestión para especies maderables tropicales, Brien y Zuidema (2005a). Además, los autores señalan que las tasas de crecimiento de los árboles de los bosques tropicales muestran una considerable variación inter e intra anual en la formación de madera de los árboles. Algunos árboles presentan mejor crecimiento y las correlaciones temporales se pueden encontrar entre las tasas de crecimiento en los años siguientes. Esta autocorrelación temporal pueden influir poderosamente en la variación de las trayectorias de crecimiento y por lo tanto la variación de edad en las poblaciones de árboles. La importancia relativa de ambos tipos autocorrelación de crecimiento puede variar entre las fases de la vida.

El fuerte crecimiento de los árboles-autocorrelacionados conduce a grandes diferencias en las tasas de crecimiento a largo plazo entre los árboles y en consecuencia a la variación de la edad de los árboles de tamaño homogéneo. Brien y Zuidema (2006)

La disminución de la autocorrelación en el crecimiento dentro del árbol en lapsos de tiempo más largo fue mayor para los árboles grandes que para los árboles más pequeños. En un lapso de 2 años, la correlación promedio fue cercana a cero en las clases de mayor tamaño, mientras que la correlación de las clases de tamaño más pequeño disminuyó de forma más gradual y seguía siendo positivo en un lapso de 5 años. Se debe considerar que los valores presentados son el promedio de los árboles individuales, y que las diferencias entre los árboles en términos

de fuerza y persistencia en la autocorrelación del crecimiento fueron relativamente altas. Brienen y Zuidema (2006)

Así, las autocorrelaciones en el crecimiento parece ser de gran importancia para comprender y predecir los patrones de crecimiento de los árboles. La intensidad de autocorrelación del crecimiento total fue muy influenciado por la relación entre el tamaño y la tasa de crecimiento.

### 2.3.5 Principales Métodos y Técnicas de Datación en Zonas Tropicales

Existen varios métodos para la datación, uno de los más utilizados es el de la **Medición de anillos de Crecimiento**; el cual determina la edad de los árboles mediante la identificación, reconocimiento anatómico, conteo y medición de los anillos anuales de crecimiento. El ancho de un anillo de crecimiento es obtenido a través de la medición del inicio de la zona clara (leño inicial) al final de la zona oscura (leño tardío) y brinda la cantidad de crecimiento en un determinado año. Los anillos anchos indican un crecimiento acelerado, mientras que anillos estrechos un crecimiento más lento; siendo una de las metodologías más precisas para determinar la edad de un árbol. Roig (2000)

**Densitometría por Rayos X**, técnica que consiste en la atenuación de los rayos X por la madera obteniendo valores exactos en anchos de anillos de crecimiento y densidades aparentes internas. Los estudios con rayos X, puede verse como una actividad netamente investigativa, sin embargo, se trata de una valiosa herramienta que permite reunir en un proceso gran cantidad de información de alto valor para el seguimiento y toma de decisiones en el manejo forestal, Rosero (2009); Campos (2009).

**Isotopía radioactiva**; es el estudio de isótopos estables de Carbono ( $^{14}\text{C}$ ), Oxígeno ( $\text{O}_{18}$ ,  $\text{O}_{16}$ ) y Nitrógeno (N) de anillos de crecimiento y aplicados a climatología, ecología e hidrología. Estos análisis son costosos y requieren de personal altamente entrenado, Worbes (1995); Vetter, (2000); Botosso y Mattos (2002). En el trópico la técnica de isotopía permite estimar las variaciones de precipitación pasadas asociadas con el Fenómeno del Niño y también la

posibilidad de proveer un control dendrocronológico de los árboles con variación isotópica interanual bien definida, Rosero (2011).

**Mediciones continuas de la circunferencia y/o diámetro de los árboles;** Un método dinámico consiste en la implantación de fajas dendrométricas permanentes en el fuste de los árboles, los cuales permiten la medición continua del crecimiento diametral o de la circunferencia determinando los periodos de actividad cambial en relación al ritmo de crecimiento y las variables climáticas mediante su asociación con marcaciones anuales del cambium y fenología. Botosso y Mattos (2002). Según Roig (2000) la probable fuente de error de este método es el propio ritmo de crecimiento, no constante, durante toda la vida. Esta metodología es muy utilizada como parte de la aplicación de la dendrocronología principalmente en dendroecología y la dendroclimatología. Botosso y Mattos (2002) determinaron la periodicidad y tasa de crecimiento del fuste de los árboles tropicales con dendrómetros de cintas de acero inoxidable. Además los mismos autores determinaron variaciones en la tasa de crecimiento de tres especies forestales tropicales (*Cedrela odorata*, *Eperua bijuca*, *Calophyllum angulare*) relacionadas estrechamente a la precipitación y la disponibilidad de agua en el suelo en la estación lluviosa y la ocurrencia del periodo de seca con reducción de la actividad cambial. Con el estudio se obtuvo una relación entre el incremento radial de *Cedrela odorata* con los cambios de la copa del árbol y con el periodo anual de sequía.

**Marcación cambial;** para el registro de la marcación cambial y la datación de cicatrices existe el "método de la ventana", descrito por Mariaux, el cual consiste en la eliminación de la corteza y el floema (5 cm de alto x 0,5 cm de longitud) en la dirección longitudinal del tronco. Lisi *et al* (2008) elaboraron cada año de tres hasta seis ventanas de cada especie en el invierno (de junio) y la primavera (diciembre). Un total de 48 árboles (dos individuos por especie) se llenaron de cicatrices. De las muestras de madera que tuvieron las cicatrices se extrajeron con un extractor de motor en dos períodos (octubre y diciembre). Luego cortaron las secciones transversales de madera con un micrótopo y analizaron su superficie con un microscopio estereoscópico (10-40X). Las cicatrices fueron fechadas por contar el número de anillos formados ya que marca el cambium. Éste método daña el cambium vascular y al dejar una marca en la madera con fechas conocidas se corroboran mediante observaciones macro o microscópicas al obtener una sección transversal completa o parcial del tronco. Así se determina si el anillo se formó durante un año.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 SELECCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Junín provincia de Chanchamayo, distrito de San Ramón. La plantación de “Teca” abarca una extensión de 5,8 hectáreas; comprendido desde el Río Chanchamayo hasta las colinas altas localizadas atrás de la casa hacienda del fundo; donde existen campos de cultivo de naranja en las zonas bajas y bosques de protección en las partes altas, Llave (2008) (Figura 3). El Fundo Génova (1200 m.s.n.m.) se encuentra entre las coordenadas UTM: 18L, 459,500-463,500 Oeste y 8°7714,500 Norte, Antón y Reynel (2004); el cual posee una extensión de 350 has aproximadamente, cuyos límites son:

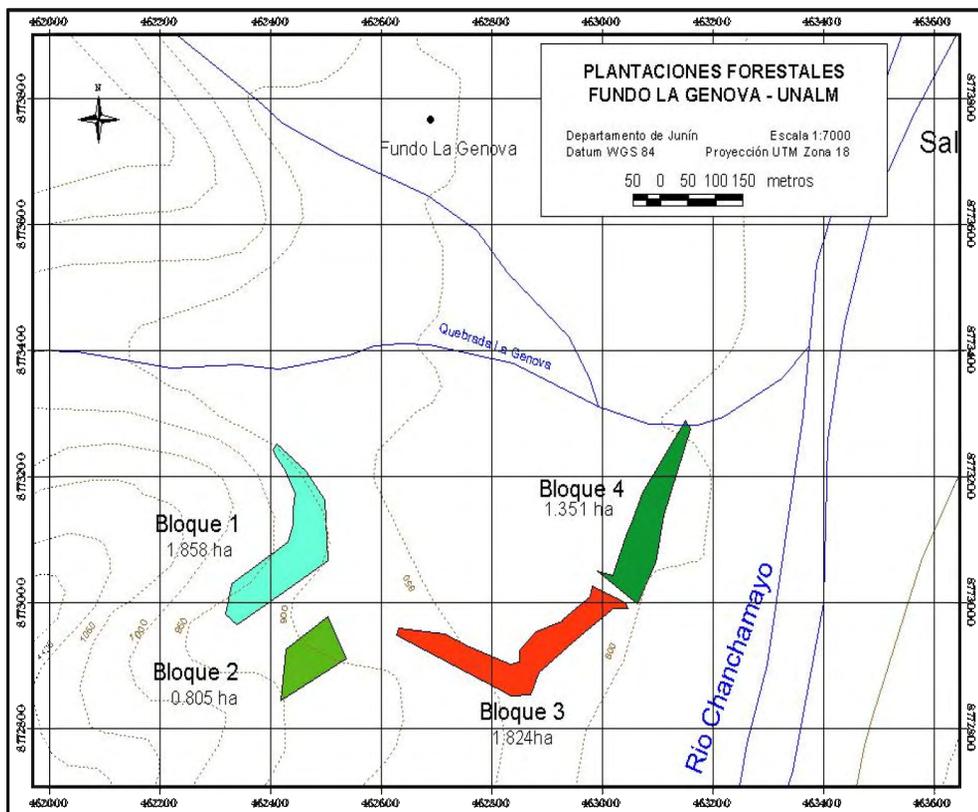
Al Norte: Fundo La Francia y Fundo Santa Rosa, al Sur: Fundo Ex chalaca y Fundo Breñaña, al Este: Fundo La Victoria, al Oeste: Río Chanchamayo



**Figura 3** Ubicación de Área de estudio. Campo de experimentación IRD Fundo La Génova

### 3.1.1 Selección del Área de Muestreo

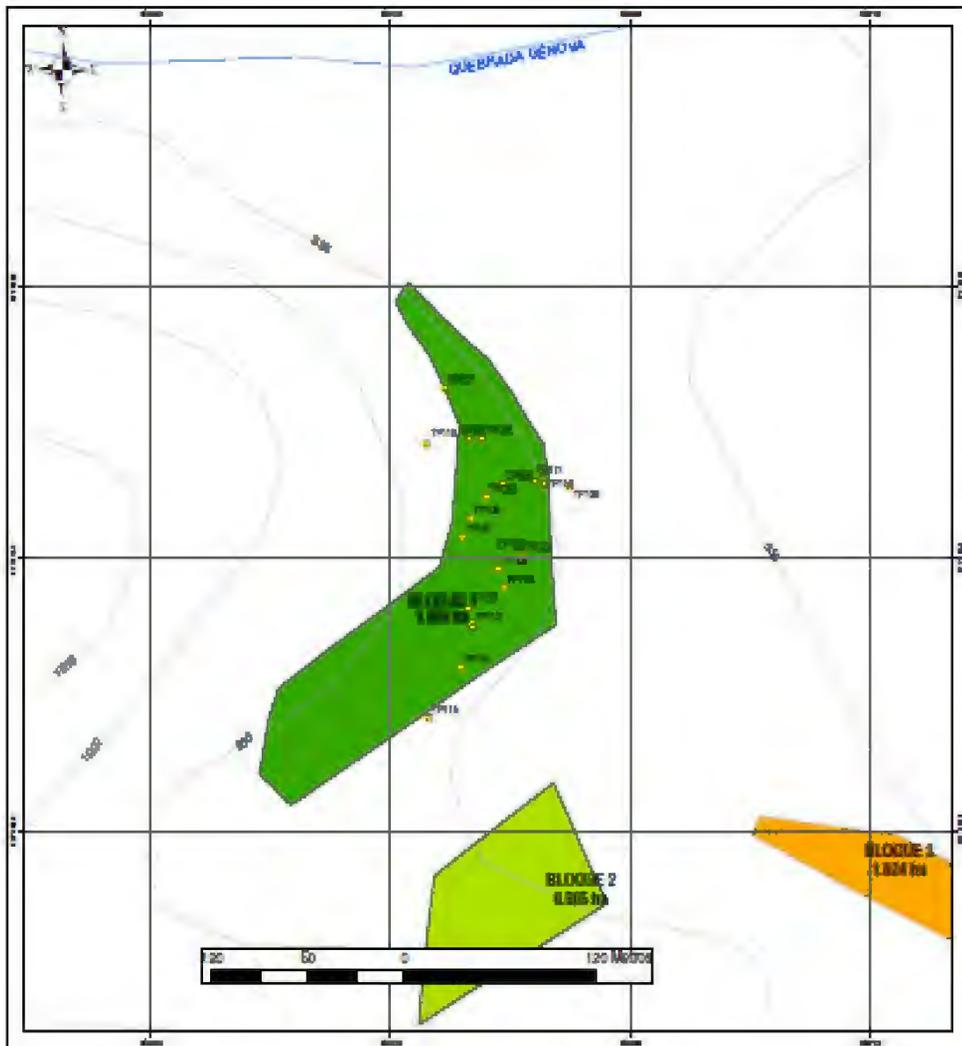
Las plantaciones de “Teca” del fundo La Génova ocupan en total un área aproximada de 5,8 ha., y se encuentra distribuida en 4 bloques. Las plantaciones han recibido un solo raleo selectivo y a la vez sistemático con una intensidad del 50% de los individuos inicialmente establecidos, es decir considerando los árboles muertos como parte de la población. Bulnes *et al.* (2007) (Figura 4)



**Figura 4** Distribución de los bloques de la plantación y áreas de “Teca” en el Fundo La Génova - UNALM.

### **3.2 DEMARCACIÓN, COLECCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE *TECTONA GRANDIS***

Se seleccionaron y demarcaron 31 árboles de “Teca”, considerándose tres clases diamétricas (10 – 20, 20 - 30, 30 - 40), provenientes del Bloque 1 y tomados en forma aleatoria (Figura 5), teniendo en cuenta los aspectos fitosanitarios y de sitio, para evitar la acción del efecto de borde pues ésta influye en el crecimiento de los arboles debido a factores como inclinación de terreno, acumulación de nutrientes, exposición solar, vientos, competencia, etc. Finalmente se demarcaron 10 árboles para la clase diamétrica de 10 – 20 cm, 16 árboles para la clase diamétrica de 20 – 30 cm y 5 árboles para la clase diamétrica de 30 – 40 cm de DAP. La fecha de colección de material de estudio se realizó en Febrero del 2010.



**Figura 5** Distribución de árboles seleccionados del bloque 1

Las muestras de madera de los árboles se colectaron por medio del método no destructivo con ayuda del barreno o Sonda de Pressler, con dimensiones de 5,1 x 400 mm; diámetro x largo. Se colectaron 4 muestras radiales de madera, incluyendo la médula (distanciadas 90°) a nivel del DAP del fuste de los árboles seleccionados.

Posteriormente las muestras fueron codificadas y acondicionadas en sorbetes de plástico para su posterior análisis en el Laboratorio de Anatomía e Identificación de Maderas de la Universidad Nacional Agraria La Molina. (Figura 6)



**Figura 6** a y b: Muestreo con sonda Pressler, c, d y e: Extracción de la muestra “Teca” y f: Equipos y materiales utilizados en campo

### 3.3 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS SERIES METEOROLÓGICAS

Los datos meteorológicos de precipitación y temperatura mensual fueron proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (Figura 7), a partir de dos estaciones meteorológicas. La Estación San Ramón con datos correspondientes al periodo entre 1969 a 1979, localizado en el distrito de San Ramón, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín, con una latitud de 11°07'1", Longitud de 75°20'1" y una altitud de 1061 msnm. La Estación Satipo con datos correspondientes a los periodos entre 1964 a 1981 y de 1989 al 2010, localizado en el distrito de Satipo, Provincia de Satipo, Departamento de Junín, con una latitud de 11°13'12", una longitud de 74°37'37" y una altitud de 588 msnm. (Ver ANEXO 1 y 2) Con la finalidad de una mejor observación de los datos meteorológicos de precipitación y temperatura mensual, éstos se presentaron en histogramas, para un mejor análisis dendrocronológico desde el mes de agosto para que al momento de hacer la sincronización con la cronología se pueda observar una óptima correlación.

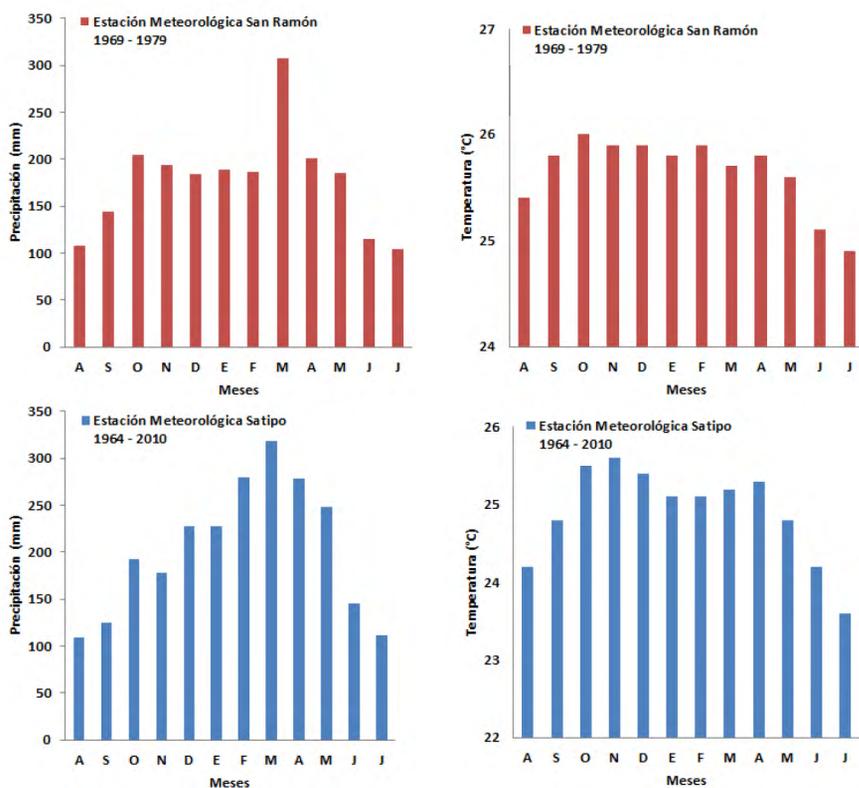


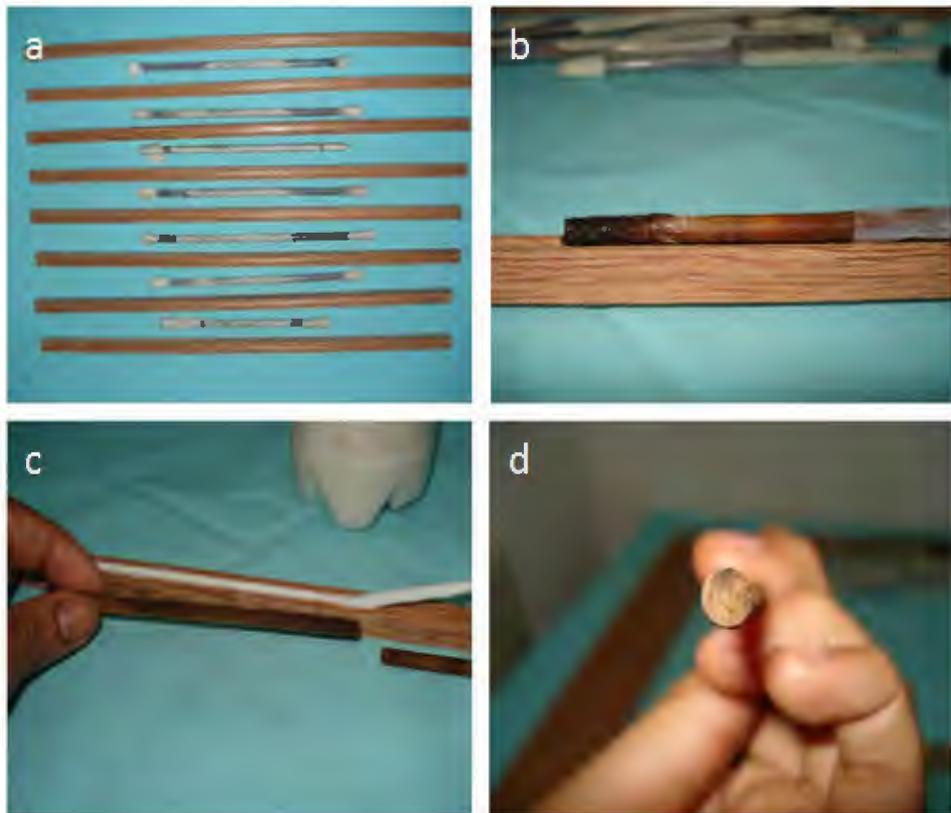
Figura 7 Histograma de precipitación y temperatura en las estaciones de San Ramón y Satipo.

Fuente: SENAMHI, 2011

### 3.4 ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO DE LA ESPECIE *TECTONA GRANDIS*

#### 3.4.1 Preparación de las Muestras de Madera

Las muestras de madera obtenidas para 31 árboles de “Teca” fueron pegadas en soportes de madera considerando los elementos leñosos dispuestos en sentido longitudinal y exponiendo en la parte superior la sección transversal (Figura 8). Las muestras fueron codificadas de acuerdo al origen de la muestra colectada. La sección transversal de las muestras fue pulida manualmente con lijas de diferentes granulaciones (120, 320, 400 y 600 grano.pulgada<sup>-2</sup>) para visualizar los anillos de crecimiento (Figura 9)



**Figura 8** a: Soportes y muestras en sorbetes plásticos, b y c: Preparación de muestras y montaje en soportes de madera y d: Ubicación de la sección transversal de la muestra

Esta preparación tiene como objetivo poder diferenciar claramente en las muestras los límites de los anillos de crecimiento, teniendo como referencia las bandas de parénquima marginal, luego las muestras fueron limpiadas con una compresora de aire para remover el polvo de madera.

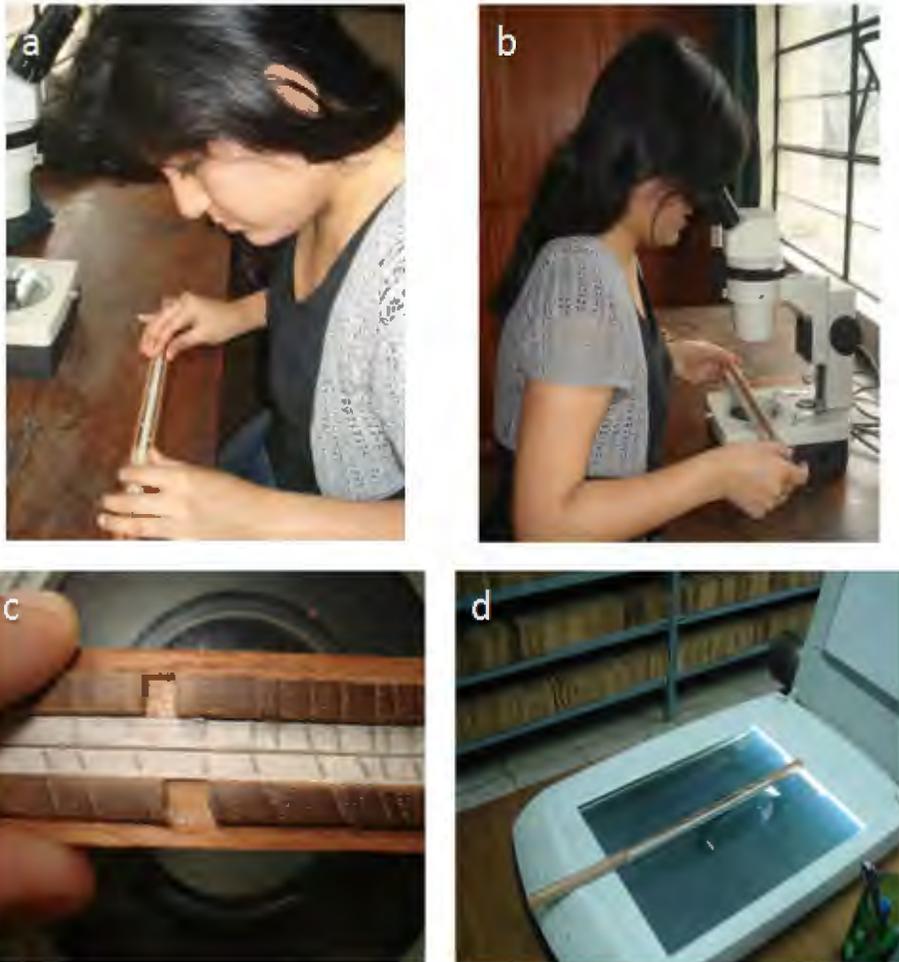


**Figura 9** a: Codificación de las muestras, b: Total de muestras montadas y codificadas, c y d: Lijado de las muestras

### 3.4.2 Medición y Sincronización (CO-FECHADO) de los Anillos de Crecimiento

Pegadas las muestras en los soportes, se delimitan los anillos de crecimiento en su sección transversal (Figura 10c) en los 3 o 4 radios de cada árbol, para lo cual se utilizó un estereoscopio marca OLYMPUS, con cámara fotográfica digital acoplada marca CANON, Modelo DC 150; dicha demarcación se realizó con lápiz considerando como referencia

principal a la línea de parénquima marginal existente. Posteriormente los radios fueron digitalizados a través de un Scanner HP Scanjet 4400 c, (resolución 600 dpi) (Figura 10).



**Figura 10** a: Marcación de los anillos de crecimiento, b: Comprobación de marcación en el estereoscopio, c: Sincronización visual de los anillos de crecimiento y d: Escaneo de las muestras.

El ancho de los anillos de crecimiento previamente demarcado fue medido a través de un software de análisis de imagen denominado “Image Pro Plus v.4.5”, utilizado por Rosero (2011). Calibrado el software con el uso de una escala digitalizada y mediante la digitalización manual de dos puntos se determina la distancia entre los mismos (precisión de 0,001mm). Obtenida la medición del ancho de los anillos de crecimiento y teniendo como referencia los

límites de diámetros de árboles. El ancho de los anillos de crecimiento generados en el software Image Pro Plus, fueron exportados hacia Microsoft Office Excel y posteriormente analizados.

Luego de haber obtenido los anchos de los anillos de crecimiento de los 3 o 4 radios de cada árbol muestreado, se procedió a construir la serie cronológica de los anillos y se continuó a su sincronización. El control de la calidad de las mediciones de los anillos de crecimiento y la verificación de la sincronización (co-fechado) fue realizado con el programa COFECHA, Holmes *et al.* (1986), que analiza estadísticamente la correlación entre las porciones de las series fluctuantes (a fechar) y las series individuales o master independientemente fechadas y verificadas, posibilitando identificar la existencia de falsos anillos o anillos faltantes de crecimiento para su posterior control, además permite comprobar y corregir el cofechado. Holmes *et al.* (1986)

Las series para las que COFECHA identifica problemas, se grafican usando la rutina BARPLOT (Holmes *et al.*, 1986), la cual muestra la desviación estándar de cada serie individual. Mediante la comparación de los gráficos de las series individuales y la serie promedio para el sitio, y el análisis cuidadoso de las muestras con problemas bajo lupa del estereoscopio, se identifican los anillos que pueden haberse omitido por error o estar ausentes en el radio analizado. El fechado de estas muestras se hace midiendo estas series e ingresándolas como no fechadas al programa COFECHA, el cual permite determinar el año inicial de cada serie. Una vez determinado el año inicial correcto, se continúa corrigiendo las series en que pudieran estar ausentes uno o más anillos, procediendo según lo señalado para las muestras de árboles vivos.

En una colección usualmente se pueden cofechar sólo una parte de las muestras. El porcentaje varía entre 43% y 90%, dependiendo de las características del sitio (Villalba, 1990; Lara y Villalba 1993; Neira, 1995), citado por Lara *et al.* (2000). Las muestras que no cofechan normalmente provienen de árboles cuyo crecimiento ha estado fuertemente influenciado por condiciones locales (competencia, liberaciones, incendios).

Luego de obtener los valores radiales en el ancho de los anillos de crecimiento, se procedió a una sincronización por la aplicación del software COFECHA, Holmes *et al.* (1986); Grissino-Mayer (2001), permitiendo realizar el control de calidad, sincronizando cada radio medido con

la serie maestra (promedio de las series individuales) y permitiendo determinar errores en la medición e identificación de anillos de crecimiento falsos y ausentes. Como consecuencia las tendencias de crecimiento (ruido) fueron excluidas de cada serie de los anillos de crecimiento mediante el ajuste de una función de remoción (*spline* cúbico), en la tendencia de crecimiento de los árboles de la plantación analizada, en la cual cada valor de la serie fue dividida por su valor correspondiente en la curva *spline* obtenida, con un valor de límite de respuesta-frecuencia de 50% y una longitud de serie pre-determinada de 25 años

Realizado éste ajuste el programa comparó las series residuales, correlacionando segmentos de 20 años con intervalos de 10 años, detectando e identificando errores de medición, posiblemente debido a anillos de crecimiento ausente o falsos, evidenciados por bajas correlaciones entre las series y altas correlaciones en posiciones no fechadas dentro de la serie de anillos de crecimiento.

### 3.4.3 *Elaboración de la Serie Maestra y Cronología en los Anillos de Crecimiento de la Especie **Tectona grandis***

Para la obtención de la cronología de la madera de los árboles de “Teca” es importante describir los conceptos “señal” y “ruido”. Se denomina “señal”, a la información relevante contenida en los anillos de crecimiento para el estudio en particular de una variable. El término “ruido” es una parte de la información presente en la serie de anillos y que es irrelevante para el estudio de la variable considerada. Definiendo así que la serie de anillos de crecimiento del leño es un conjunto (agregado) de varias “señales” y “ruidos”, según la aplicación del estudio dendrocronológico. El análisis de un disturbio particular por aplicación de anillos de crecimiento, consiste en realizar una buena decodificación de las “señales” contenidas en los anillos de crecimiento, resaltando el interés para el estudio minimizando a los restantes.

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

árboles de “Teca” fueron aplicados los conceptos de Cook y Kairiukstis (1989), los cuales consideran las series de los anillos de crecimiento como un agregado lineal compuesto por “señales” presentes, expresadas de la siguiente ecuación:

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

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;
- $\delta$  : 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 buscó maximizar el efecto de la “variable climática” en la formación de los anillos de crecimiento seleccionando solo aquellos árboles de “Teca” evitando la elección de árboles inclinados y de aquellos que se encuentren al borde de la plantación. Luego, cada serie cronológica fue estandarizada, retirándose las tendencias de crecimiento de los anchos de anillos de crecimiento, asumiéndose que son funciones de las dimensiones y de la edad de los árboles y de las perturbaciones endógenas y exógenas del medio; conforme al modelo siguiente:

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

Dónde:

- $Q_t$  : tendencia de crecimiento estimada como una función de la edad;
- $A_t$  : tendencia en el ancho de los anillos de crecimiento relacionada con el tamaño y la edad de los árboles;

- $\delta$  : indicador binario relacionado con la presencia ( $\delta=1$ ) o ausencia ( $\delta=0$ ) de algún disturbio;
- $D1_t$  : 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 polinómica 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 la compone; y como resultado el software calcula las correlaciones (Pearson) entre las series individuales y la serie máster.

Uno de los más conocidos paquetes estadísticos para el análisis de las series dendrocronológicas es el llamado Dendrochronological Program Library o DPL. Esta librería (escrita en lenguaje Fortran) constituye un compendio de 36 programas de aplicación en ecología, climatología, hidrología y arqueología. Fue originalmente desarrollada por Richard Holmes, del Laboratory of Tree – ring Research de la Universidad de Arizona, USA, en colaboración con laboratorios y científicos de cada país. La DPL permite intercambiar los formatos de los datos, lo que facilita la tarea del dendrocronólogo. A su vez, el proceso de obtención de una cronología a partir de un conjunto de mediciones de anchos de anillos, se realiza empleando el programa ARSTAN.

Una vez obtenidas las series cofechadas, se desarrollan las cronologías de anchos de anillos mediante el programa ARSTAN (Cook y Holmes, 1984). Éste programa realiza la estandarización de las series individuales de cada árbol, existiendo la opción de ajustarlas a diferentes curvas teóricas (recta, exponencial negativa, horizontal o spline de diferente rigidez), las cuales tratan de reproducir las tendencias biológicas del crecimiento. Mientras más rígida la curva de ajuste, se preserva un mayor porcentaje de la varianza de baja frecuencia (ondas

largas). En éste caso se eligió la opción 2 del programa, que ajusta la curva a una regresión lineal, lo que asegura eliminar el efecto de cambio en la tasa de crecimiento del árbol debido a la edad (si lo hubiera), y preservar la varianza de baja frecuencia.

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 a la metodología indicada por Fritts (1976), en donde los datos fueron transformados en índice del ancho del anillo de crecimiento ( $I_t$ ) o denominada simplemente *índice* ( $I_t$ ):

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

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 estimado en función solamente de la edad.

La estandarización realizada por el programa ARSTAN tiene dos objetivos:

- a) Remover las tendencias de crecimiento no climáticas relacionadas con la edad de los árboles y
- b) Permitir que los valores estandarizados de los árboles de “Teca” individuales, con diferentes tasas anuales de crecimiento del fuste, sean calculadas juntas en una función promedio.

Dicha estandarización posee, la ventaja de corregir la heterogeneidad de la variancia del 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 estandarización; por lo que los datos estandarizados (índices) se producen como un cálculo de las cronologías medias de los anillos

de crecimiento, denominadas *ESTANDAR*, generadas a partir de la utilización del programa ARSTAN para cada sitio en los árboles de “Teca” a través de la media entre las series.

Con los datos estandarizados (índices) se procedió a calcular las cronologías medias de los anillos de crecimiento, denominadas “Estándar”, generadas a partir de la utilización del programa ARSTAN para la población de árboles de “Teca” a través de la media entre las series.

Después de realizar el control de calidad en las series de los anillos de crecimiento en árboles de “Teca”, se estandarizaron las series cronológicas obtenidas en la plantación del bloque 1, mediante la remoción de las tendencias biológicas de crecimiento en diámetro no relacionadas con el clima a través de la aplicación de una función *spline* cúbico, mediante la ejecución del programa ARSTAN, Cook (1985); Holmes (1994). Debe indicarse que la aplicación de esta función *spline* fue adoptada en función de los mejores resultados, siendo así, que para dendroclimatología permite obtener la mejor reconstrucción climática, Delgado (2000).

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) un porcentaje de longitud de serie de 67% asegura que las variancias de baja frecuencia se pierden, siendo la tendencia de crecimiento removida, tornándose más flexible y permitiendo un mejor ajuste así como una mayor cantidad de segmentos en las series de anillos de crecimiento. Holmes (1994) sugiere aplicar una doble estandarización (“double detrending”) para remover las tendencias del efecto de crecimiento u otros factores por la aplicación de una curva exponencial negativa y un *spline* cúbico. Este segundo modelo remueve cualquier residuo que pudiera haber dejado la curva exponencial. Holmes (1994) lo justifica mostrando como una curva exponencial negativa que se ajusta muy bien en los periodos juveniles, mientras que un *spline* rígido no es adecuado en la juventud, pero si lo es en la madurez y vejez del árbol, por lo que la combinación secuencial de ambas técnicas podría corregir las deficiencias de cada método. Cook (1989) examinando las

propiedades de la doble estandarización (double detrending) encontró que la combinación del ajuste lineal o exponencial negativo más un simple spline cúbico de 67% funcionan bien pues no remueven las varianzas de baja frecuencia.

### **3.5 DETERMINACION DE LA ANUALIDAD EN LA FORMACION DE ANILLOS DE CRECIMIENTO**

Con la finalidad de determinar la anualidad del anillo de crecimiento en la plantación se realizó un muestreo en julio del 2011; un año después de la primera colección de muestras tomándose muestras de 6 árboles al azar del área de estudio; que permitió observar, el inicio de formación del anillo correspondiente al periodo de crecimiento del año 2010.

Se determinó la anualidad de los anillos de crecimiento en “Teca” al muestrear 6 árboles pertenecientes a la misma plantación al año siguiente de la extracción de las muestras, aplicando la metodología indicada en el Ítem 3.2 realizada para la primera extracción.

### **3.6 RESPUESTA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES: ANÁLISIS DENDROCLIMATOLÓGICO**

Obtenida la cronología de la especie con el programa ARSTAN y recopilada la serie climatológica se procedió a correlacionar ambas y se determinó el factor que más influenció en el crecimiento de la especie. Las funciones de respuesta son ampliamente utilizadas en dendroclimatología, Fritts (1976), por lo que para describir la relación existente entre clima y crecimiento de los árboles, 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. Luego se realizó un análisis 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.

La influencia de las variables climáticas en el crecimiento en diámetro de los árboles de “Teca” se pudo verificar a través de la correlación de las cronologías de los anillos de crecimiento y los datos de la serie climática de la Provincia de Satipo.

El software RESPO, 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. Se probó diferentes escenarios con el programa RESPO al inicio de crecimiento como por ejemplo inicio de época de lluvias considerando al mes de Agosto, o fin de época de lluvias considerando al mes de mayo, seleccionando el primer escenario por describir mejor la relación del crecimiento con el clima.

### **3.7 ANÁLISIS DENDROECOLÓGICO DE LAS SERIES CRONOLÓGICAS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO:**

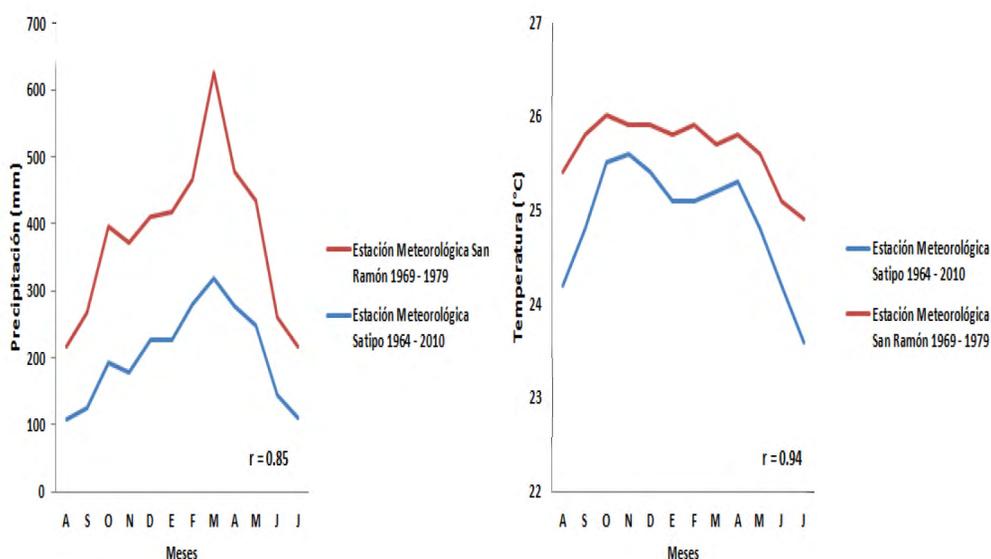
Obtenidas las correlaciones entre las series de anillos y las series meteorológicas definiendo así la anualidad de la formación de los anillos de crecimiento se determinaron las tasas de crecimiento diametral de la especie en estudio; para lo cual se construyó una gráfica de crecimiento en diámetro por año y se determinó una ecuación de crecimiento teniendo como variables el diámetro y edad de árboles.

La diferencia en el número de árboles encontrados por clase diamétrica se debe a que los árboles de “Teca” presentan distintas tasas de crecimiento; debido a diversos factores como buen crecimiento, desarrollo de suelos profundos, llanos y bien drenados, abundancia de calcio, pendiente, exposición solar, espaciamiento, con una marcada estación seca de tres a cinco meses con un máximo de 50 milímetros de lluvia conforme lo indica Centeno (2001), por otro lado las condiciones de los sitios secos en general se asocian con un crecimiento atrofiado.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DE LAS SERIES METEOROLÓGICAS

Con la finalidad de conocer la correlación de los datos climatológicos con la cronología de la plantación se encontró vacíos de información en la Estación San Ramón referente a datos de precipitación y temperatura en el periodo de 1980 hasta el 2010, por lo que se optó por realizar un análisis de valores meteorológicos para correlacionarlos con registros de la estación meteorológica (Satipo); bastante cercana a la estación San Ramón. Se observó que las tendencias de las dos series meteorológicas fueron similares (Figura 11) obteniéndose coeficientes de correlación significativos para precipitación ( $r=0,85$ ) y temperatura ( $r=0,94$ ) habiéndose seleccionado a la serie meteorológica de la Estación Satipo para el análisis climatológico. (Anexo 1 y 2)



**Figura 11** Series meteorológicas de dos estaciones meteorológicas: Estación de San Ramón y Satipo

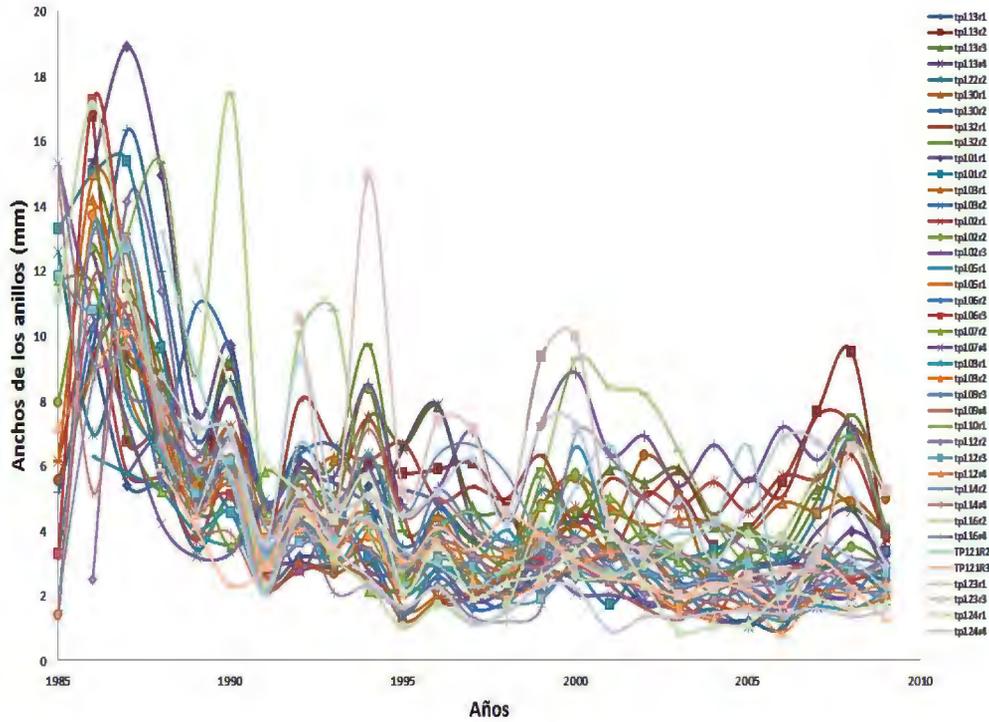
## 4.2 ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO DE LA ESPECIE *TECTONA GRANDIS*

### 4.2.1 *Sincronización (CO-FECHADO) de los Anillos de Crecimiento (Control de calidad de las series de los anillos de crecimiento)*

Mediante el análisis de las series de anillos de los árboles de “Teca”, se realizaron las mediciones en el ancho de los anillos de crecimiento (Figura 12), de esta manera se construyó las respectivas series cronológicas (Figura 13)

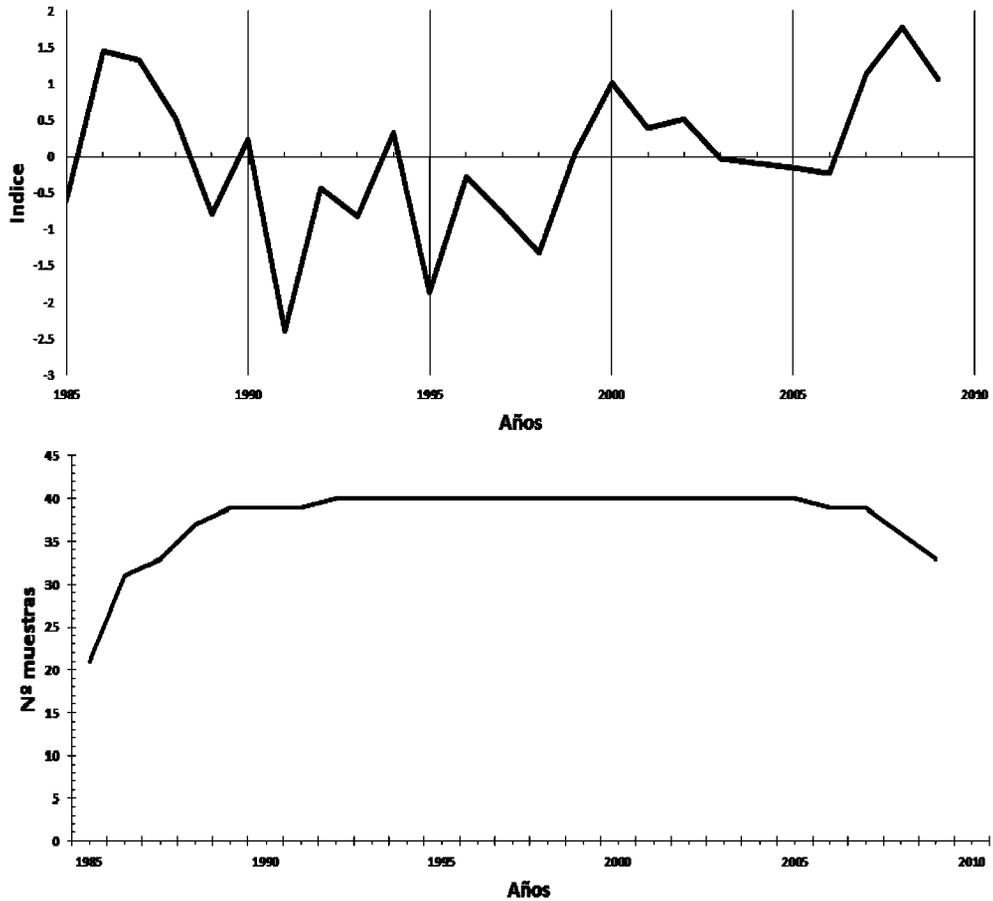


**Figura 12** Variabilidad del ancho de los anillos de crecimiento (anchos y estrechos) en “Teca”



**Figura 13** Series del ancho de los anillos de crecimiento con señal común (superior)

De este modo, la serie de los anillos de crecimiento que mostraron bajas correlaciones y al mismo tiempo no llegan a un nivel de correlación crítico de significancia (Pearson 99%), que fueron excluidos del análisis; por lo que la señal común de las series restantes fue maximizada formando una serie maestra sólida que representa el comportamiento similar entre las series (Figura 14)



**Figura 14** Serie maestra obtenida por los índices en los anillos de crecimiento con el programa COFECHA y número de muestras utilizadas en el análisis dendrocronológico en árboles de “Teca”

De los 31 árboles de “Teca” evaluados solamente 18 árboles, presentaron inter-correlaciones significativas de 0,605 (Cuadro 1), esto indica que existen características comunes que evidencian una señal común en los árboles cofechados de la plantación. Los árboles de “Teca” que no presentaron correlaciones altas fueron descartados del análisis final posiblemente debido a la presencia de irregularidades en la estructura anatómica como tortuosidad, madera de reacción, ya que se observaron anchos de anillos estrechos a comparación del resto de anillos, anillos de crecimiento falsos o no diferenciados, entre otros.

**Cuadro 1** Resultados del control de calidad de las series ejecutadas para “Teca” por el programa COFECHA

Especie	Nº Árboles		Intercorrelación		Longitud de segmento	Intercorrelación crítica COFECHA
	(series)		Media			
	Antes	Después	Antes	Después		
Teca	31(105)	18(43)	0,0067	0,605	20	0,51

El coeficiente de correlación de Pearson obtenido fue mayor al coeficiente crítico de significancia de 0,51 (Cuadro 1), para una significancia ( $p < 0,05$ ), indicando que el crecimiento en diámetro de los fustes en árboles de “Teca” para el bloque 1 analizado no presentan diferencias debido a la fuerte influencia de una señal común y posiblemente a condiciones propias de cada sitio como topografía, competencia, naturaleza edáfica, entre otras. El valor 0,605 es el promedio de la correlación promedio de los periodos 1980 – 1999 y 1990 – 2009.

Estas correlaciones positivas y significativas entre las series de anchos de los anillos de crecimiento para la plantación (Cuadro 2) demuestran que esta especie posee un enorme potencial para estudios dendrocronológicos que permitirían la construcción de redes cronológicas más extensas en la región amazónica.

**Cuadro 2** Inter-correlación de las series cronológicas a partir de los anchos de anillos de crecimiento para la especie “Teca”

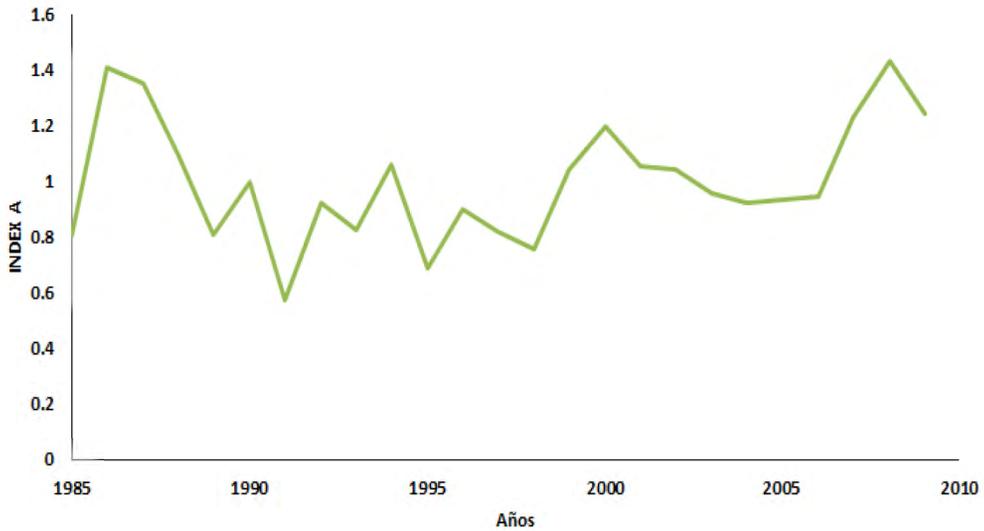
Secuencia	Series	Intervalo		Inter-correlación	
				Periodo	Periodo
				1980 - 1999	1990 - 2009
1	tp113r1	1986	2009	0.47B	0.56
2	tp113r2	1986	2009	0.29B	0.32A
3	tp113r3	1986	2009	0.56	0.56
4	tp113r4	1986	2009	0.50A	0.48A
5	tp122r2	1985	2009	0.56	0.72
6	tp130r1	1985	2009	0.75	0.7
7	tp130r2	1985	2009	0.57	0.61
8	tp132r1	1986	2009	0.59	0.6
9	tp132r2	1986	2009	0.79	0.81
10	tp101r1	1986	2009	0.76	0.88
11	tp101r2	1985	2009	0.67	0.67
12	tp103r1	1986	2009	0.68	0.68
13	tp103r2	1988	2009	0.58	0.66
14	tp102r1	1985	2009	0.44A	0.39A
15	tp102r2	1985	2009	0.79	0.71
16	tp102r3	1987	2009	0.34B	0.33A
17	tp105r1	1986	2008	0.50A	0.45B
18	tp106r1	1985	2007	0.79	0.73
19	tp106r2	1985	2009	0.65	0.59
20	tp106r3	1985	2009	0.74	0.69
21	tp0107r2	1986	2006	0.77	0.72
22	tp0107r4	1986	2009	0.56	0.59
23	tp109r1	1985	2009	0.51A	0.41A
24	tp109r2	1985	2009	0.52	0.50A
25	tp109r3	1985	2009	0.68	0.59
26	tp109r4	1985	2008	0.55	0.63

27	tp110r1	1987	2009	0.7	0.72
28	tp112r2	1986	2009	0.59	0.74
29	tp112r3	1985	2009	0.76	0.84
30	tp112r4	1985	2009	0.94	0.93
31	tp114r2	1985	2009	0.38A	0.45A
32	tp114r4	1985	2009	0.47A	0.56
33	tp116r2	1985	2007	0.68	0.69
34	tp116r4	1985	2007	0.49A	0.73
35	tp121r2	1988	2009	0.43A	0.43A
36	tp121r3	1988	2009	0.29B	0.27A
37	tp122r2	1985	2009	0.56	0.72
38	tp123r1	1988	2009	0.66	0.64
39	tp123r3	1992	2009	0.58	
40	tp124r1	1989	2009	0.51A	0.61
41	tp124r4	1989	2009	0.43A	0.45A
42	tp132r1	1986	2009	0.59	0.6
43	tp132r2	1986	2009	0.79	0.81
<b>Correlación promedio</b>				<b>0.59</b>	<b>0.61</b>

Correlación Pearson 99%, nivel crítico de correlación 0.51; A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones más elevadas que en otras posiciones

#### 4.2.2 Obtención de la Cronología en la Especie *Tectona grandis*

Las cronologías generadas por el programa ARSTAN, indican que la plantación de la especie “Teca” en el Fundo La Génova tiene una edad de 25 años (Periodo 1985 - 2009) (Figura 15).

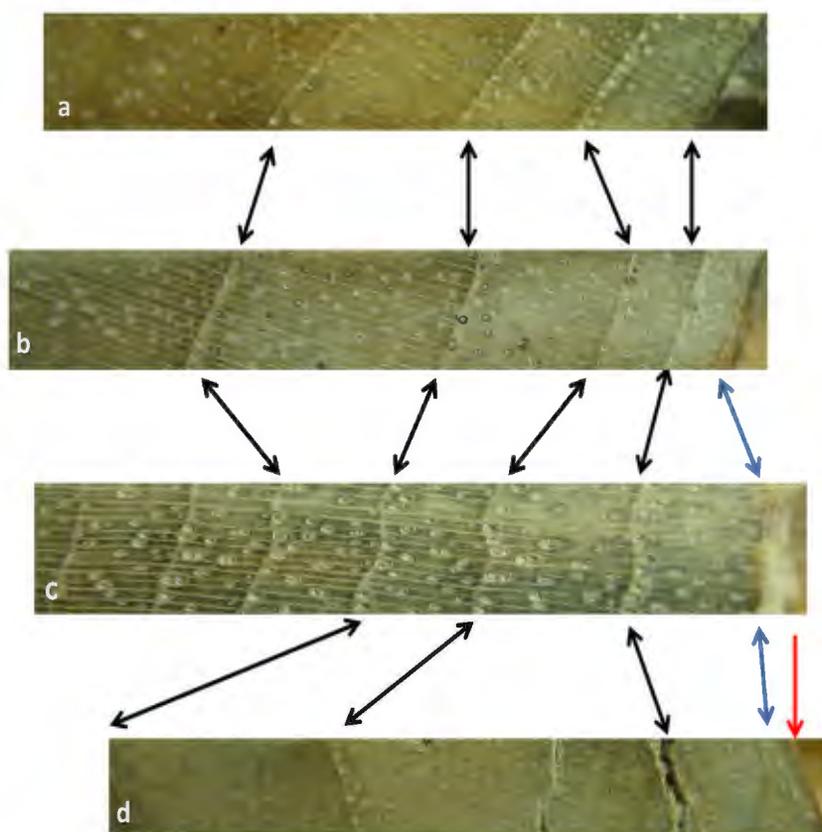


**Figura 15** Cronología máster de los árboles de “Teca”

Las correlaciones significativas de las series de anillos de crecimiento de 18 árboles del bloque 1 indican una sincronización en su crecimiento por año, demostrando así la presencia de una señal común que se identificara posteriormente en el análisis climatológico, esto es corroborado con los estudios realizados por Campos (2009), donde el análisis de las series en los anillos de crecimiento de los árboles de *C. cateniformis* en el C.I.J.H. mostraron correlaciones significativas, revelando de este modo, una sincronización en el crecimiento determinándose consecuentemente una cronología maestra para cada sitio analizado. La posibilidad de agrupar las especies tropicales ocurrentes en dos sitios diferentes, mediante el análisis dendrocronológico, muestra que el resultado en las series temporales en el ancho de los anillos de crecimiento (índices) es una representación de un padrón común de variabilidad de las especies (Chagas, 2009).

#### 4.2.3 Determinación de la Anualidad en la Formación de Anillos de Crecimiento

En el análisis se observó el límite de los anillos de crecimiento perteneciente al año 2009 cuya configuración anatómica del anillo presentó bandas de parénquima marginal y porosidad semicircular. Esta configuración de formación de anillo y caracterización fue también observada por Oliveira (2011), que permitió la correcta identificación de la formación del anillo anual. Luego se visualizaron los límites de los anillos de crecimiento pertenecientes al año 2010, y el inicio de la formación del nuevo anillo perteneciente al 2011, tal como se muestra en la Figura 16.



**Figura 16** Formación anual de los anillos de crecimiento de “Teca”. Donde a: Año 2009 (muestra testigo), b: Año 2010, c: Año 2010, d: Año 2011

Mediante el análisis de las series de anillos de los seis árboles de “Teca”, se realizaron las mediciones en el ancho de los anillos de crecimiento, aplicando la metodología del ítem (3.2).

De los seis árboles analizados solo cinco presentaron intercorrelaciones significativas de 0,569 (Cuadro 3), indicando que existen características comunes evidenciando también una señal común en los cinco árboles cosechados de la plantación en los años siguientes al primer muestreo (2009).

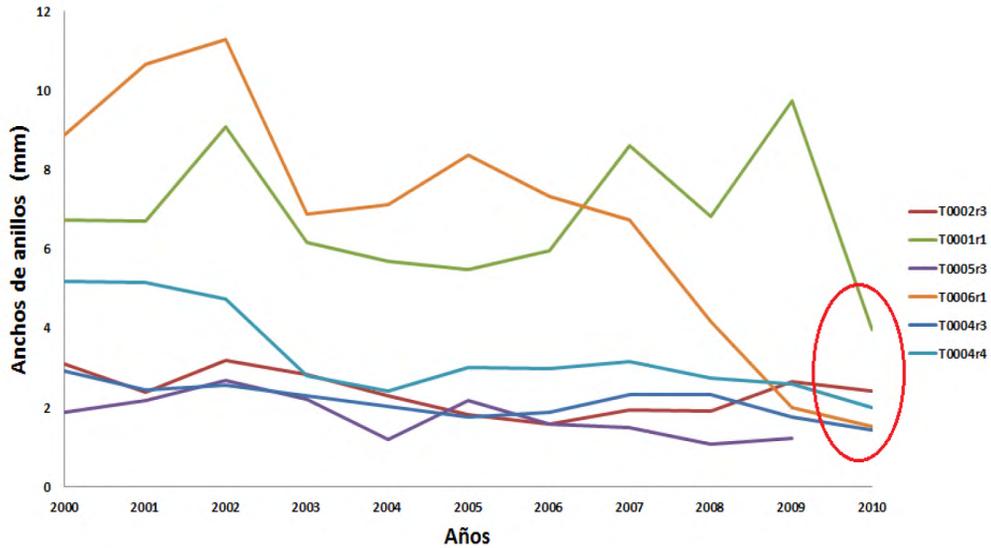
El coeficiente de correlación de Pearson obtenido fue mayor al coeficiente crítico de significancia de 0,51 (Cuadro 3) indicando que el crecimiento en diámetro de los fustes en árboles de “Teca” provenientes del bloque 1 no presenta diferencias debido a la fuerte influencia de una señal común evidenciada también en los años anteriores; corroborando así estadísticamente la formación del anillo de crecimiento del siguiente año.

**Cuadro 3** Inter-correlación de las series cronológicas de los anchos de anillos de crecimiento

Secuencia	Series	Intervalo		Inter-correlación		
				1980 - 1999	1990 - 2009	2010 - 2011
1	T0002r3	1988	2010	0.65	0.65	0.54
2	T0001r1	1987	2010	0.59	0.66	0.6
3	T0005r3	1986	2009	0.56	0.58	
4	T0006r1	1985	2010	0.81	0.67	0.7
5	T0004r3	1986	2010	.47A	.47A	0.57
<b>Correlación promedio</b>				<b>0.62</b>	<b>0.61</b>	<b>0.6</b>

Correlación Pearson 99%, nivel crítico de correlación 0,51; A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones más elevadas que en otras posiciones

Se observó que en los últimos 10 años el ancho de los anillos de la serie obtenida presentan una alta correlación y sincronía, mostrando en el último año de crecimiento una caída en el ancho del anillo en comparación a los otros árboles inicialmente muestreados, tal como se puede observar en la Figura 17, cuyo análisis pudo reforzar lo observado en relación a la formación anual del nuevo anillo de crecimiento.



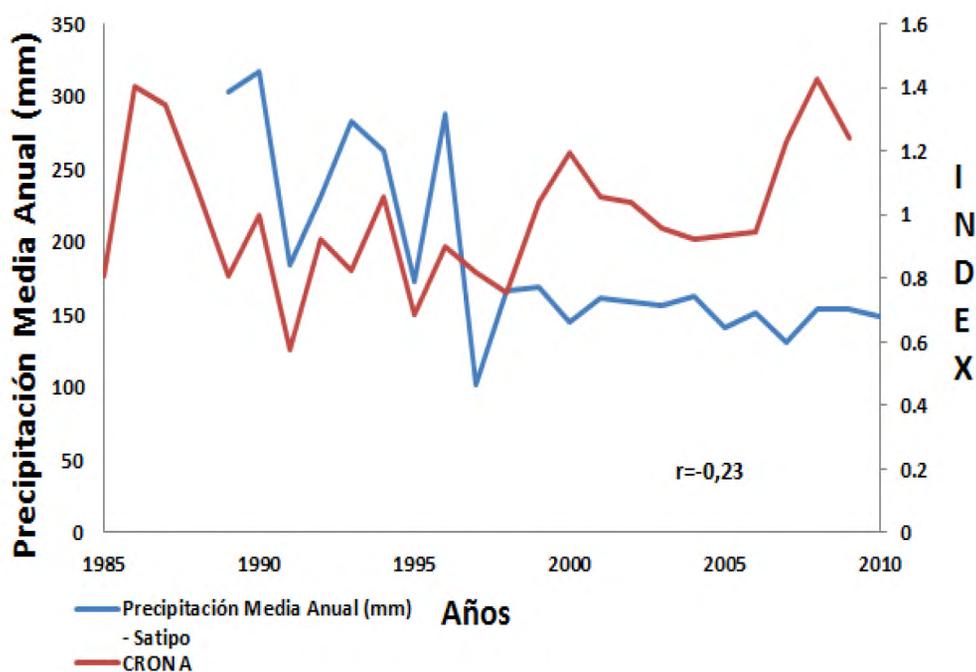
**Figura 17:** Correlación de anillos de crecimiento en el último año de formación

Obtenidos estos resultados se pudo determinar y comprobar el crecimiento anual de los árboles de “Teca” en el fundo La Génova.

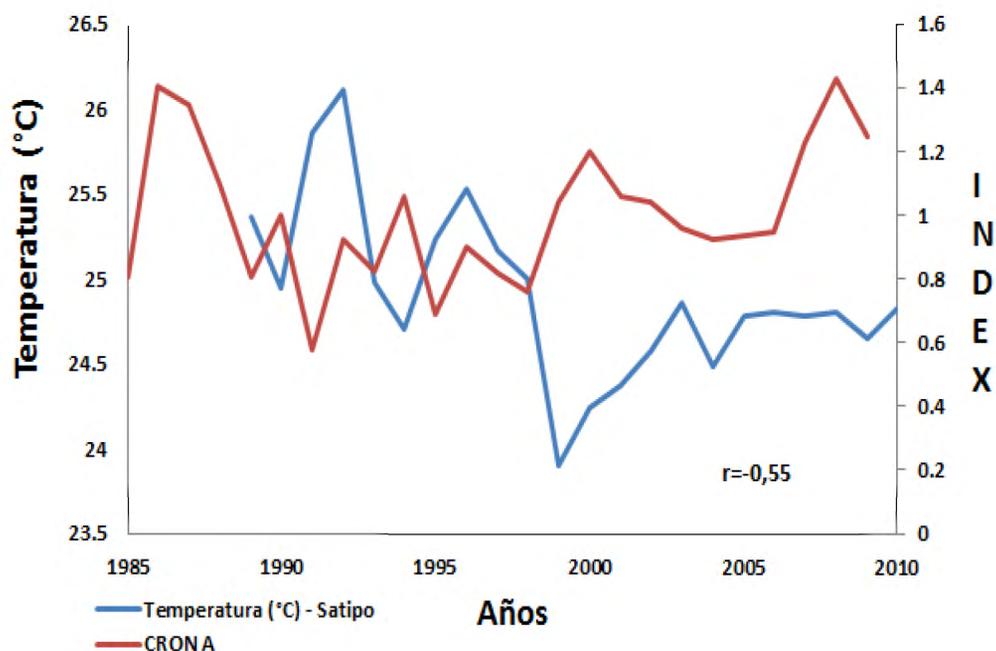
#### 4.2.4 *Análisis Dendroclimatológico*

Al realizar el análisis de correlación entre la serie cronológica de los árboles de “Teca” y los datos de precipitación registrados en la zona desde el año 1989 hasta el 2010 se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson negativa ( $r = -0,23$ ). Asimismo, al realizar la correlación entre la temperatura media anual registrada desde el año 1989 hasta el 2010 se obtuvo un coeficiente de correlación Pearson negativo ( $r = -0,55$ ), en ambos casos para un nivel de confianza de 95% (Figura 18 y Figura 19). La baja correlación obtenida entre las series se debe a las bajas sincronizaciones observadas en varias partes de la serie cronológica lo que indicaría la presencia de un factor externo (raleo) que ha modificado el crecimiento de la especie; posiblemente explicado por intervenciones silviculturales no registradas realizadas en las plantaciones de “Teca” (Bulnes *et al.*, 2007) durante diferentes periodos de su crecimiento.

Dichos resultados pueden demostrar que tanto la precipitación como la temperatura no influyen directamente en la formación de anillos de crecimiento; sin embargo, se observó en dicho análisis que existe un mejor comportamiento de la especie con la precipitación (periodos 1989 - 1997). Así mismo, estudios de ecofisiología forestal en árboles de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* demostraron que las especies responden más sensiblemente a condiciones locales de agua, y demanda de nutrientes, dichos estudios fueron realizados por Dunish *et al.* (2002 y 2003)

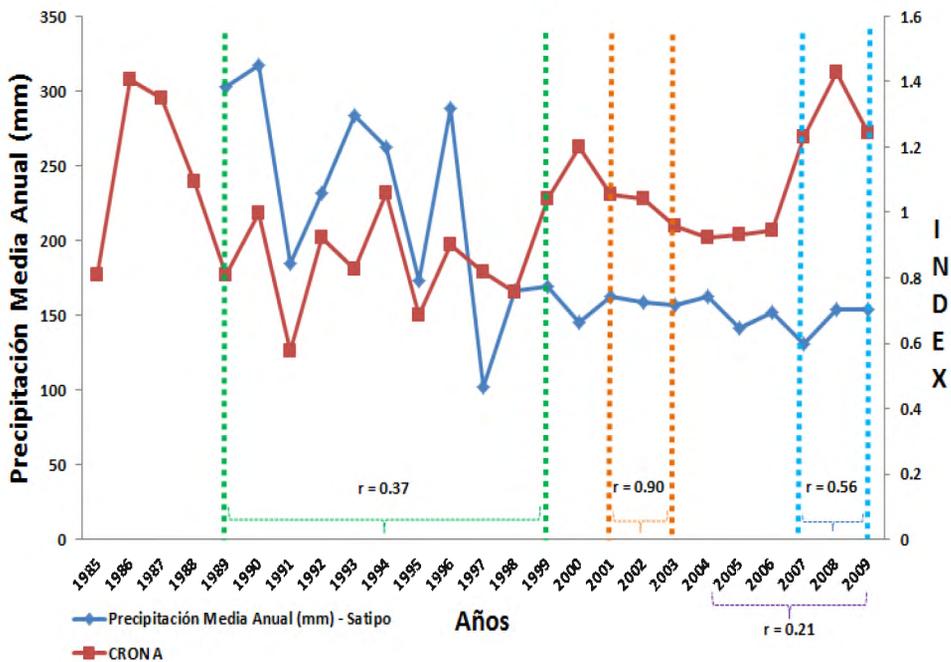


**Figura 18** Correlación entre la precipitación media (mm).y la serie cronológica “CRONA” (índice) en árboles de “Teca”



**Figura 19** Correlación entre la temperatura (°C).y la serie cronológica “CRON A” (índice) en árboles de “Teca”

Determinada la variable precipitación como factor de mayor sensibilidad con la cronología obtenida, se logró identificar los periodos donde si existen altas correlaciones entre el índice (INDEX) y la precipitación, obteniéndose 3 periodos: 1989 - 1999 ( $r = 0,37$ ), 2001 - 2003 ( $r = 0,90$ ), 2007 - 2009 ( $r = 0,56$ ) de mayor significancia entre ellas (Figura 20).



**Figura 20** Relación entre precipitación en (mm) y la serie cronológica “CRON A” (índice) de los árboles de “Teca” para tres periodos.

Los altos índices de significancia obtenidas entre las cronologías maestras y las precipitaciones medias anuales para los periodos mencionados indican que esta puede ser la principal variable climática en el crecimiento en diámetro de los árboles de “Teca”. Dicho nivel de significancia se da porque el agua tiene gran influencia en el crecimiento de los árboles no solo como resultado del déficit de precipitación durante ciertos meses del año, si no también debido a la variación de la precipitación año tras año tal como lo explica Brienen y Zuidema (2005a).

La formación de anillos de crecimiento en los árboles analizados es causada por el poco crecimiento durante la época seca que ocurre más o menos tres meses por año, debido a la carencia de agua en el suelo traduciéndose en la formación de anillos anuales, tendencias similares se han encontrado en estudios realizados en Bosques Tropicales en países como Brasil, Vetter y Botosso (1989); Tomazello et al. (2000), en Perú, Rosero (2009), Campos

(2009), en Bolivia, Brienen y Zuidema (2005a); Brienen y Zuidema (2006) y en Colombia, Giraldo y del Valle (2011).

Además se determinó que si se realizara un análisis más detallado de las correlaciones entre el crecimiento y las precipitaciones en determinados meses del año podemos encontrar que la correlación significativa entre la precipitación del mes de julio y el crecimiento, que se da principalmente por que las lluvias de la estación seca e inicio de la temporada de lluvias, pueden ocasionar la reactivación de la actividad cambial dando como resultado periodos largos de crecimiento. Priya y Bhat (1999)

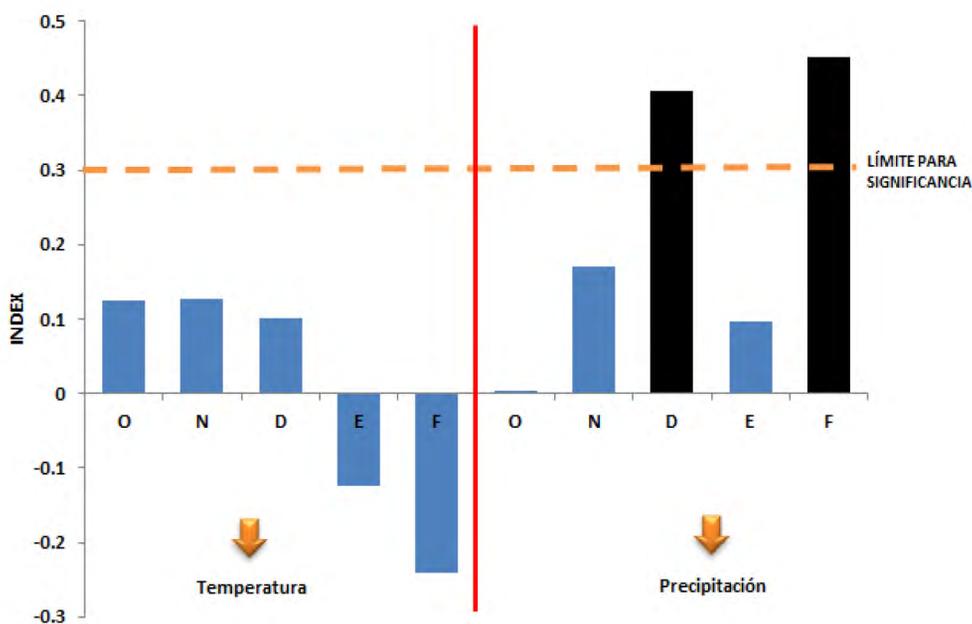
A través del programa RESPO, Holmes (1994) realizó un análisis de las variables climáticas: precipitación y temperatura (Cuadro 4) y su influencia en el crecimiento en 18 árboles de la especie durante los 25 años a través del análisis de componentes principales entre las cronologías de los anillos de crecimiento y los registros climáticos mensuales (desde octubre del año anterior en el periodo de crecimiento hasta febrero del año posterior: periodo de 5 meses), determinó en qué periodo las variables climáticas influyen significativamente al crecimiento en diámetro de los árboles de “Teca”.

**Cuadro 4:** Coeficiente de correlación Pearson para la relación entre índices de los anchos de los anillos de “Teca” (cronologías máster), valores mensuales de precipitación (mm) y temperaturas medias (°C)

RESPO Arboles de “Teca”			
		Temperatura	Precipitación
		Correlación de Pearson	Correlación de Pearson
Meses			
Año anterior	Octubre	0,1244	0,0039
	Noviembre	0,1267	0,1714
	Diciembre	0,1012	0,4059
Año posterior	Enero	-0,1235	0,0961
	Febrero	-0,2407	0,4512

Se obtuvieron correlaciones negativas del crecimiento del árbol con la temperatura mensual, no significativas en los meses de enero ( $r = -0,1235$ ) y febrero ( $r = -0,2407$ ) del año presente; y positivas no significativas en la época de lluvias (verano) en los meses de octubre, noviembre y diciembre. En general, la temperatura mensual varía poco a lo largo del año en la región de estudio, donde se obtuvo una temperatura media de  $24,9^{\circ}\text{C}$  ( $23,6$  a  $25,6^{\circ}\text{C}$ ), siendo los meses de octubre, noviembre y diciembre los que tienen la más alta temperatura media de  $25,5^{\circ}\text{C}$ , en la región. Según Pumijumngong *et al.* (1995), la temperatura alta puede aumentar la tasa de evapotranspiración y así poner los árboles bajo estrés hídrico; por lo que, la correlación negativa entre la temperatura y el crecimiento puede ser un efecto indirecto asociado a la alta demanda de agua de los árboles y gran cantidad de lluvia en el mismo período.

También se encontró que existe una correlación positiva y significativa del crecimiento del árbol con la precipitación al inicio de la época de lluvias (verano) en el mes de diciembre ( $r = 0,4059$ ) del año anterior y en el mes de Febrero ( $r = 0,4512$ ) del año presente (Figura 21).



**Figura 21** Correlaciones entre los índices de los anillos de crecimiento de los árboles de “Teca” con las variables climáticas (temperatura media mensual y precipitación media mensual), de la región para la plantación.

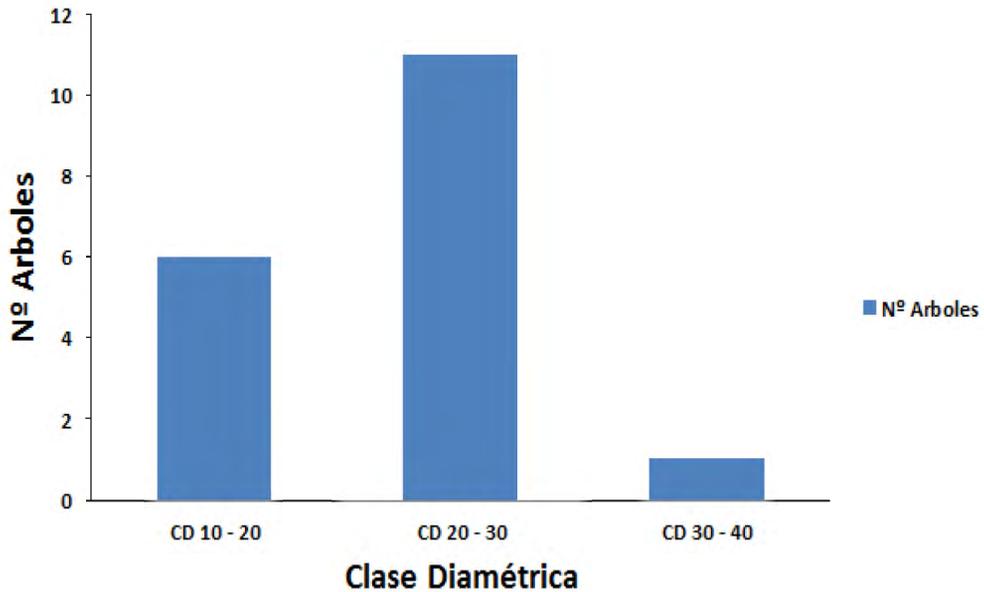
El mayor promedio de lluvias en Febrero (279.9 mm) confirma la correlación positiva y significativa de la precipitación con el crecimiento de los árboles de “Teca”, debido a la acumulación de agua en el suelo proporciona a los árboles condiciones favorables para el desarrollo del árbol. Este comportamiento también se observó en las especies *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* en el estudio realizado por Dunish *et al.* (2003), reportando un mayor crecimiento en diámetro al inicio (noviembre – enero) y al final (mayo) de la época de crecimiento, donde el almacenamiento de compuestos orgánicos producidos en el proceso fotosintético en éste último periodo es utilizado en el crecimiento de los árboles, al inicio de la estación de crecimiento siguiente. El mes de mayo se caracteriza por una disminución en los niveles de lluvia, por lo que el inicio del período seco en la región de estudio, se extiende desde mayo a septiembre, cuando las tasas de crecimiento comienzan a aumentar. Los resultados son corroborados por Tomazello y Cardoso (1999), quienes estudiaron la actividad cambial y la fenología de los árboles de “Teca”; indicando que los árboles de “Teca” en Brasil muestran la formación inicial de parénquima marginal y porosidad circular en los meses de diciembre y enero. Además esto podría ser explicado por Shaha *et al.* (2007), que usando “Teca” pudo reconstruir una cronología de los fenómenos de los monzones en la India central, y encontró una correlación positiva entre la precipitación y el crecimiento de los árboles de “Teca” en el período de mayo a julio, un período que coincide con la aparición del monzón. Los mismos autores concluyeron que la temperatura del aire no mostró ningún efecto significativo en el crecimiento de “Teca” en la región.

También otros estudios explican que la formación de las capas de crecimiento en los árboles, es más intenso inmediatamente después del inicio de la temporada de lluvias y de menor intensidad hacia el final, posiblemente debido a la disminución de la capacidad fotosintética de las hojas viejas y cambios en el almacenamiento y la disponibilidad de nutrientes del suelo. Estos factores climáticos solos o combinados buscan explicar la importancia de los niveles de precipitación al inicio de la época de lluvias, para el crecimiento en diámetro de los árboles en relación al total de precipitaciones del año presente. Priya y Bhat (1999)

En base a los resultados se puede inferir que existieron algunos eventos externos que son causantes de la no sincronización en las curvas de crecimiento (**Figura 20**). En dicha figura la precipitación disminuye, pero el ancho de los anillos se incrementa en el año 1999; lo que podría ser explicado por una posible intervención silvicultural tipo raleo durante el año en curso, por lo que, si en la plantación se hubiera realizado un manejo en los meses adecuados tomando en cuenta el crecimiento y la disponibilidad de agua, se hubiera obtenido un alto incremento en el ancho de los anillos. Otro comportamiento se observó en el año 2003, donde a pesar que aumentó la precipitación, el crecimiento en el ancho de los anillos disminuyó en la plantación, explicado posiblemente a que la intervención silvicultural no se realizó en los meses que benefician el buen crecimiento del árbol. Continuando con el análisis, para el año 2007, el crecimiento tuvo un aumento significativo sincronizado con el aumento de la precipitación, explicando la posible ejecución de una adecuada intervención silvicultural en los meses de mayor precipitación y por ende mayor crecimiento. Los resultados demuestran que las actividades realizadas en la plantación modificaron la correlación general entre la serie cronológica y la serie meteorológica resultando en correlaciones bajas, negativas y no significativas.

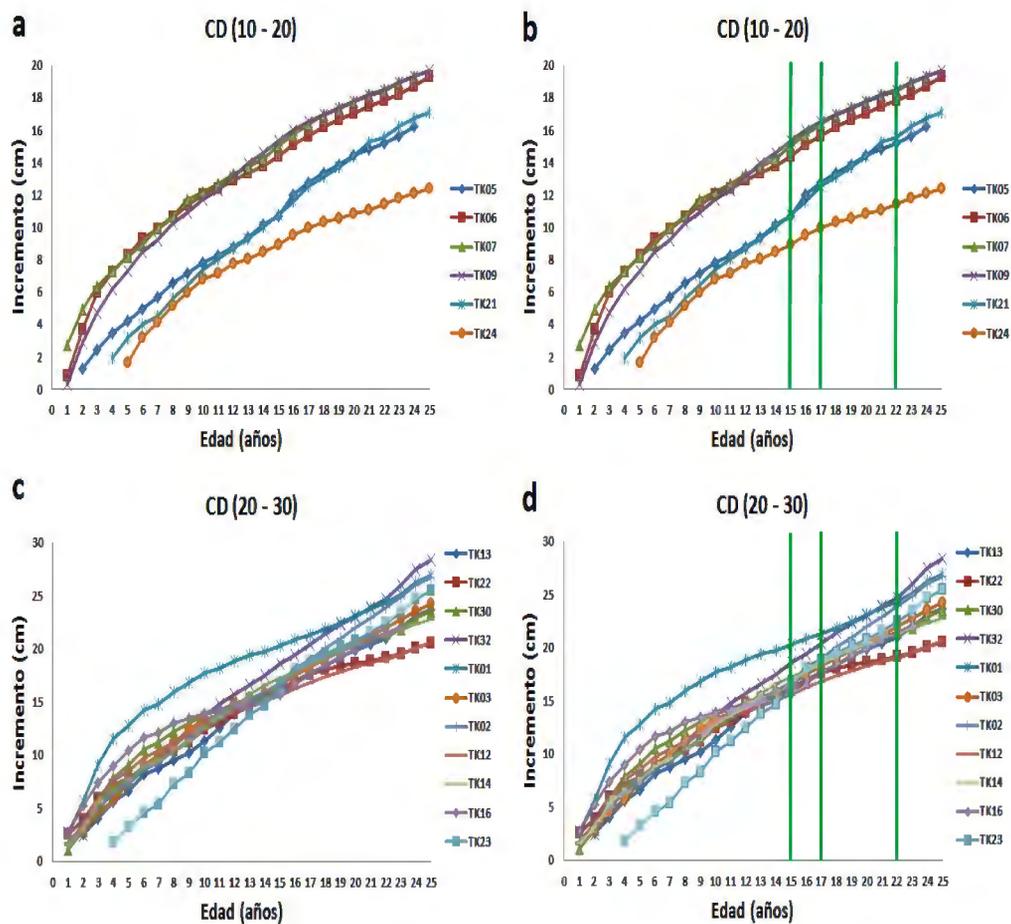
#### *4.2.5 Análisis Dendroecológico de las Series Cronológicas de los Anillos de Crecimiento*

Conforme se indicó en la metodología, 18 de los 31 árboles presentaron una alta correlación entre la cronología obtenida y la precipitación, para lo cual se obtuvo la frecuencia de los árboles pertenecientes a dicha cronología por clases diamétricas, obteniéndose 6, 11 y 1 árboles para las diferentes clases diamétricas (Figura 22). Debe precisarse para ésta última clase diamétrica no se realizaron los análisis correspondientes pues solamente incluye un árbol para dicha clase.



**Figura 22:** Histograma de frecuencia de árboles que pertenecen a la cronología obtenida

Considerando los distintos factores y definida la relación existente entre las condiciones del sitio (pendientes altas y bajas) y el crecimiento del árbol, se obtuvieron curvas de incrementos acumulados por cada clase diamétrica. En dichas curvas se identificaron intervalos donde se muestran puntos de inflexión (Año 15: 1999, Año 17: 2001 y Año 22: 2006) (Figura 23) observados como puntos no sincronizados entre la serie de la cronología y la serie precipitación (Figura 20). También se observa que en todas las clases diamétricas los puntos de inflexión corresponden a los mismos años mencionados anteriormente indicando que hubo intervenciones silviculturales que han afectado los árboles evaluados por clase diamétrica. Los resultados coinciden con Louman *et al* (1999) quienes destacan que los tratamientos silviculturales propician una respuesta en términos de incremento en el crecimiento de los árboles individuales y del rodal; en este sentido se ha observado que el crecimiento individual es mayor conforme aumenta la intensidad del tratamiento, ya sea aprovechamiento, liberación, refinamiento, raleo, etc. Además, con estas operaciones se incrementa la proporción original de las especies de interés, ya que se favorece el desarrollo de los individuos sanos y bien conformados, permitiendo simplificar la composición florística del bosque y su estructura, manteniendo la cobertura vegetal arbórea (Nalvarte *et al*, 1993).



**Figura 23:** Incrementos y cronología de los árboles de “Teca”: a y c: Incremento en cm de las Clases diamétricas de 10-20 y de 20 – 30 obtenidos. b y d: Incremento en cm de las Clases diamétricas de 10-20 y de 20 – 30 analizados

Luego se obtuvieron las tasas de incremento anual de la plantación en cm por cada periodo (Año 1 – 15, año 16 – 17, año 18 – 22 y año 23 - 25), obteniéndose tendencias de crecimiento lineales en todas las clases diamétricas evaluadas. El análisis de regresión de la clase diamétrica de 10 – 20 mostró un valor de coeficiente de determinación para “Teca” de  $r^2 = 0,7494$  y  $p < 0,05$ , para la clase diamétrica de 20 – 30 un  $r^2 = 0,9079$  y  $p < 0,05$ , siendo en general altamente significativos (Cuadro 5) (Figura 24), presentándose los mismos puntos de inflexión antes mencionados en cada clase diamétrica, evidenciando así, la presencia de intervenciones silviculturales en la plantación.

Además, se observó conforme a la Figura 24 que las tendencias de crecimiento antes de la intervención en el año 15 en todas las clases diamétricas mostraron ser logarítmicas modificándose después de la intervención silvicultural evidenciándose una tendencia lineal en general del crecimiento. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Brown *et al.*, (2004) y Jaakkola *et al.* (2005), citado por Rodríguez-Ortiz *et al.*, (2011), donde describieron que después del raleo de los árboles remanentes (residuales) de *Pinus patula* el rodal reacciona incrementando su tasa de crecimiento. Además en el estudio realizado por los mismos autores sobre modelos de crecimiento en *Pinus patula* se pudo comprobar que el raleo de árboles indujo incrementos significativos en la proporción de tejido conductivo en albura, en el área foliar por árbol, en el diámetro de la rama basal y en el volumen de madera por árbol; igualmente Bhat (2004) encontró en la India, correlaciones positivas entre el porcentaje de duramen con el ancho de los anillos de crecimiento y el diámetro de los árboles de “Teca” luego después de un raleo.

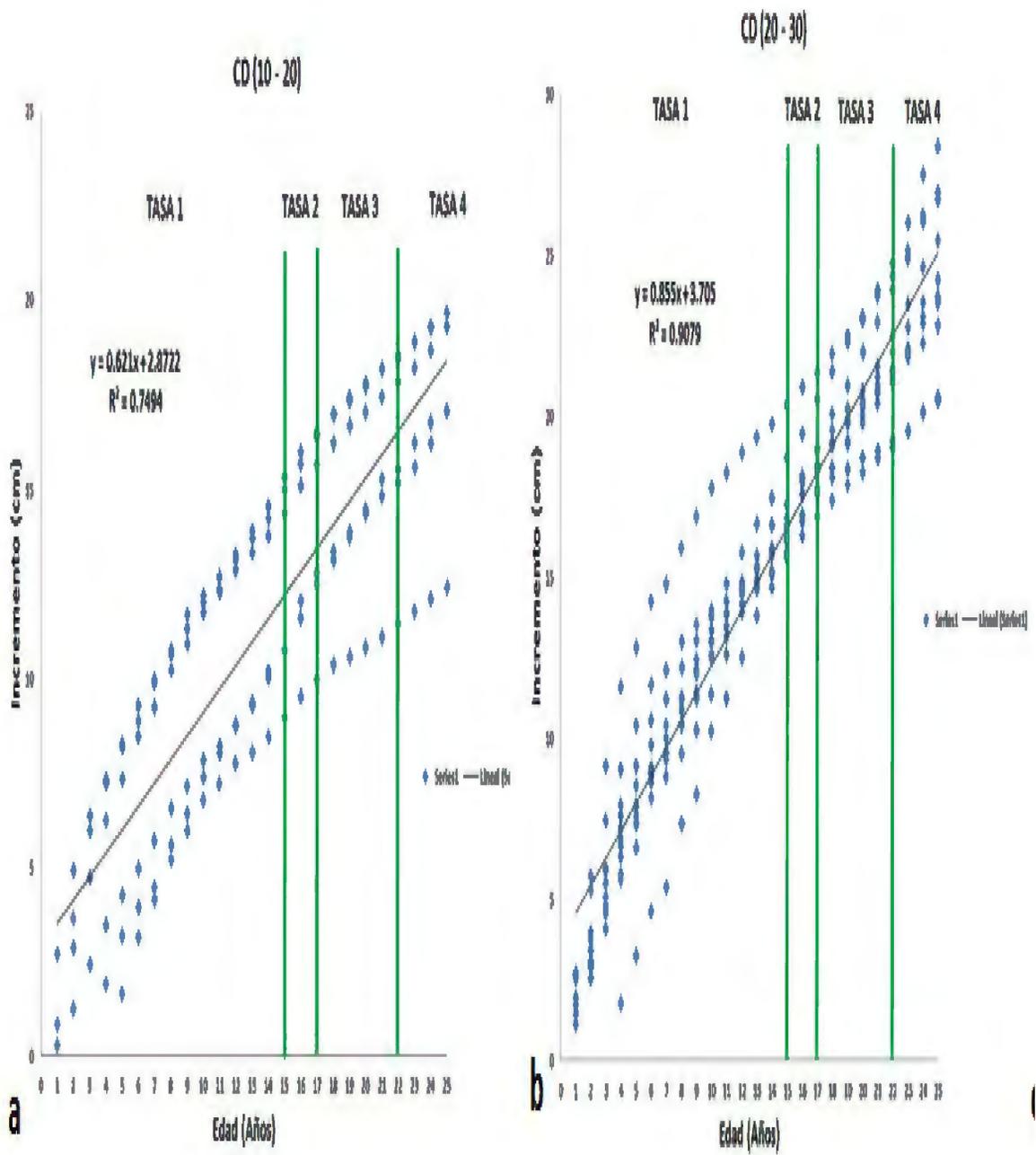
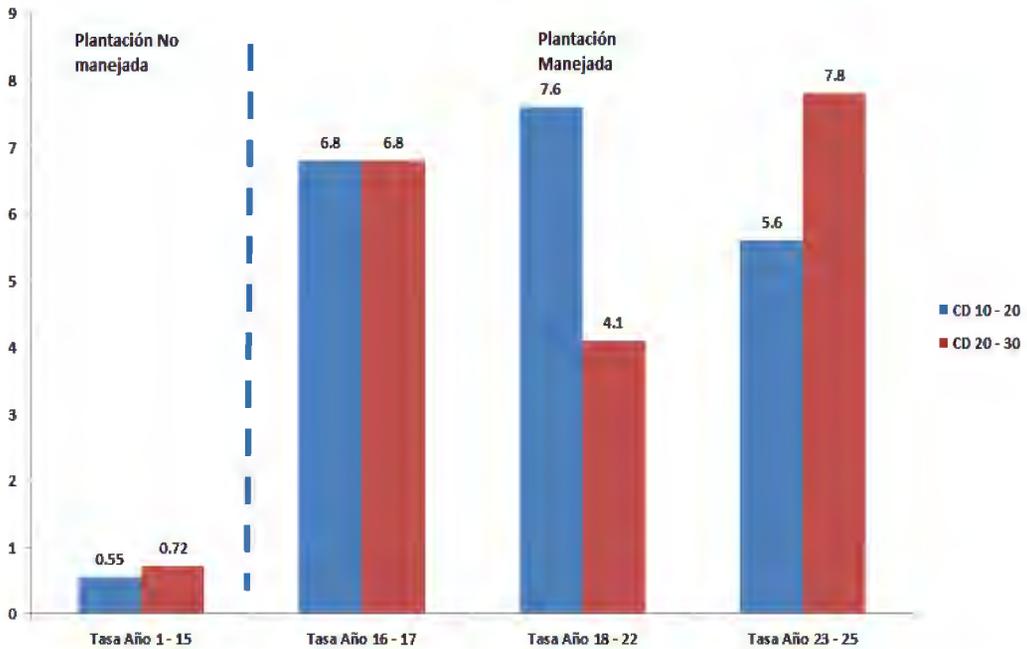


Figura 24 Regresión lineal de los incrementos en diámetro con la edad de la plantación para dos clases diamétricas

**Cuadro 5** Ecuaciones de crecimiento por clase diamétrica para “Teca” en Fundo La Génova

	CLASES DIAMÉTRICAS	
	10 - 20	20 - 30
Ecuación Tasa 1 (Año 1 - 15)	$y = 4,3769\ln(x) - 0,4173$ $R^2 = 0,588$	$y = 5,9805\ln(x) - 0,5699$ $R^2 = 0,8163$
Ecuación Tasa 2 (Año 16 - 17)	$y = 0,6548x + 2,8356$ $R^2 = 0,0181$	$y = 0,7491x + 5,855$ $R^2 = 0,0815$
Ecuación Tasa 3 (Año 18 - 22)	$y = 0,4243x + 6,8681$ $R^2 = 0,0556$	$y = 0,6383x + 7,8396$ $R^2 = 0,2566$
Ecuación Tasa 4 (Año 23 - 25)	$y = 0,2722x + 10,404$ $R^2 = 0,0066$	$y = 0,822x + 3,7811$ $R^2 = 0,0802$

El análisis de las tasas de crecimiento mostró que los primeros 15 años de crecimiento registraron diferencias con las demás clases diamétricas (Figura 25). Pasado este periodo (año 15) y con el inicio de la intervención silvicultural se observó que las tasas se incrementan de manera significativa en las distintas clases diamétricas, obteniéndose la mayor tasa de crecimiento (11,7 cm anuales) entre los años 16 a 17. Además se observa claramente que durante el periodo posterior al año 15 de la plantación existe una alta variación en las tasas de crecimiento debido a las intervenciones silviculturales, beneficiando así a las clases diamétricas de 20 – 30. (Cuadro 6).



**Figura 25** Evolución de las tasas de crecimiento por clases diamétricas por intervención silvicultural

**Cuadro 6** Valores de tasas de crecimiento según clase diamétrica

PARAMETROS	CD 10 - 20				CD 20 - 30			
	TASA Año 1-15	TASA Año 16-17	TASA Año 18-22	TASA Año 23-25	TASA Año 1-15	TASA Año 16-17	TASA Año 18-22	TASA Año 23-25
<b>MAX</b>	1,02	8,26	9,26	6,56	1,36	10,65	12,36	14,17
<b>MIN</b>	0,28	4,75	5,17	3,93	1,07	8,13	8,68	9,76
<b>MEDIA</b>	0,55	6,8	7,6	5,6	0,72	6,8	4,1	7,8

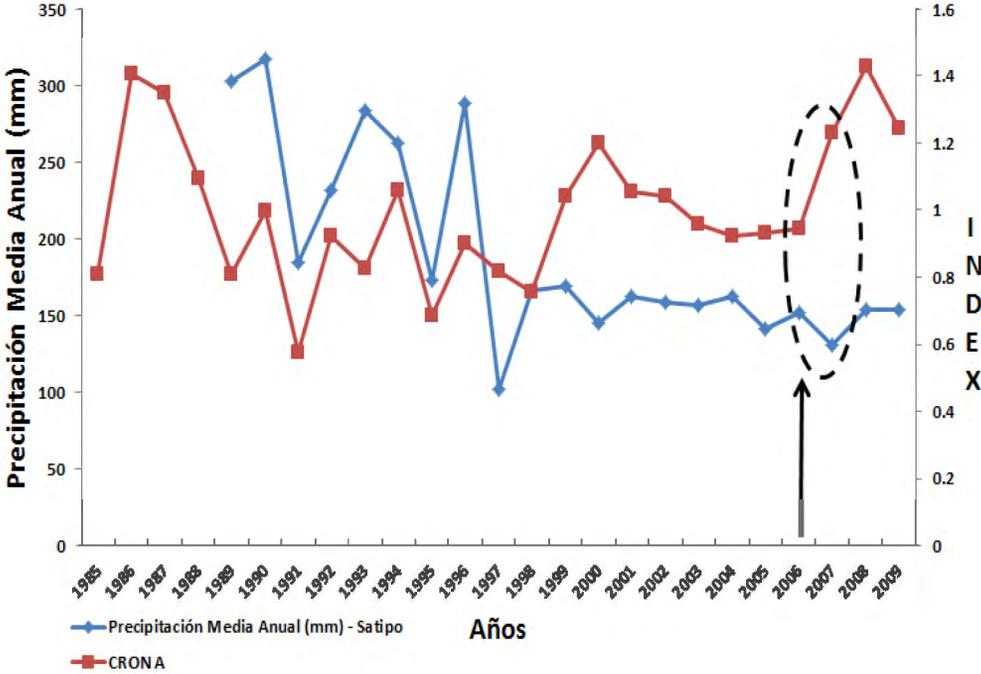
El cambio de la tasa de crecimiento de los arboles no manejados y manejados se van modificando por las intervenciones silviculturales; resultados que se reflejan en los estudios realizados para árboles de *Nothofagus pumilio* de bosques raleados (0,21 a 0,28 cm/año) en Argentina, Cruz *et al* (2007). Además estos resultados son corroborados con los valores obtenidos de ancho de anillos en *Pinus patula*, antes y después de un raleo (3,26 y 2,89 mm respectivamente) en plantaciones de México por Goche-Telles *et al.*, (2003), los cuales presentaron una diferencia estadísticamente significativa, coincidiendo con lo encontrado por Moschler *et al.* (1989), que determinó que el ancho de los anillos observados tiene una relación directa con la historia del rodal (edad, densidad y manejo).

La mayor presencia de falsos anillos en el año 22 (2006) en la cronología obtenida de la plantación, puede atribuirse a que existió un factor de precipitación o temperatura que originó que los árboles formen anillos de crecimiento falsos en ese año (Figura 26).

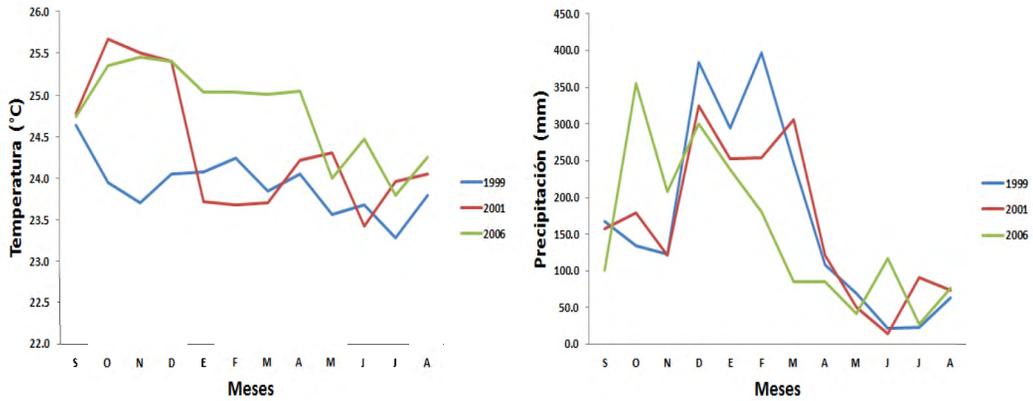


**Figura 26** Histograma de Número de árboles por año que presentan falsos anillos por cambio de tasa de crecimiento

Dicho factor se determinó analizando la gráfica de la relación entre la serie cronológica y la precipitación media anual, observándose que en el año 2006 comenzó a disminuir la precipitación y aumentó el crecimiento en la cronología (Figura 27), atribuyéndose que la mayor presencia de falsos anillos en ese año se debió al déficit de precipitación en relación a los años anteriores. Haciendo un análisis de la precipitación en el mes de Noviembre se observó que para ese año fue baja en comparación con el mes anterior que favoreció la formación de falsos anillos; en tanto que con la temperatura no se encontró una relación en los años de cambio de tasa (Figura 28).



**Figura 27** Relación entre la precipitación (mm) y la serie cronológica “CRONA” de los árboles de “Teca”



**Figura 28:** Relación entre la temperatura (°C), precipitación (mm) y los meses en los años de cambio de tasa

Así, en el análisis de las variables mensuales de precipitación y temperatura se encontró que la precipitación disminuyó abruptamente en el mes de Noviembre en los 3 años en donde ocurre el cambio de la tasa de crecimiento (1999, 2001, 2006), fortaleciendo la teoría de la formación de falsos anillos por déficit hídrico con respecto al mes anterior de precipitación; no existiendo tal relación con la temperatura (Figura 29). Dichos resultados concuerdan con lo encontrado por Priya y Bhat (1999) en la caracterización y formación de falsos anillos el cual se define que la formación de falsos anillos se debe principalmente a un déficit hídrico por disminución de precipitación pluviométrica en bosques tropicales. Además la formación de los anillos de crecimiento en los árboles analizados probablemente es causada por el poco crecimiento durante la época seca que ocurre más o menos tres meses por año; este mismo comportamiento se ha encontrado en estudios realizados en Brasil (Botosso y Vetter 1991; Tomazello y Cardoso 1999; Botosso 2000, Lisi *et al.*, 2008), Perú (Rosero 2009), Bolivia (Brienem y Zuidema 2003; Brienem 2005), donde las especies fueron sensibles a la cantidad de precipitación al inicio de la época de lluvia.

Finalmente el crecimiento en diámetro en la especie estudiada fue más alto (anillos más anchos) en meses húmedos, y su crecimiento en diámetro disminuye en meses relativamente secos, comparado con otros años. (Figura 29). Resultados que coinciden con los encontrados por Pumijumng *et al.* (1995); Dunish *et al.* (2003), quienes señalan que en general la

mayor sensibilidad a las precipitaciones, la cual induce a romper la latencia, en especies deciduas.

Otra explicación para la sensibilidad a las lluvias (principio de la temporada de precipitaciones) podría ser un aumento gradual en el agua, en las reservas almacenadas en el suelo como producto de la temporada de lluvias. Después de un lapso de tiempo de 2-3 meses siguientes al inicio de la temporada de lluvias las reservas de agua en el suelo pueden superar los niveles críticos y los árboles pueden mantener un balance positivo de agua en los meses restantes de la temporada de lluvias, incluso en períodos cortos; Botosso y Vetter (1991) encontraron este comportamiento en bosque de tierra firme para árboles de 8 especies forestales tropicales de la Amazonía por un periodo de 20 meses, caracterizados por bajos índices de precipitación pluviométrica (julio-setiembre) con una disminución o algunas veces hasta el cese de la actividad cambial. Así mismo Worbes (1999) en Venezuela citado por Campos (2009) comparó las variaciones climáticas con las periodicidades de crecimiento en el fuste de especies forestales, verificando que los árboles crecían cada mes, de acuerdo con el periodo de mayor precipitación, temperatura y humedad relativa.

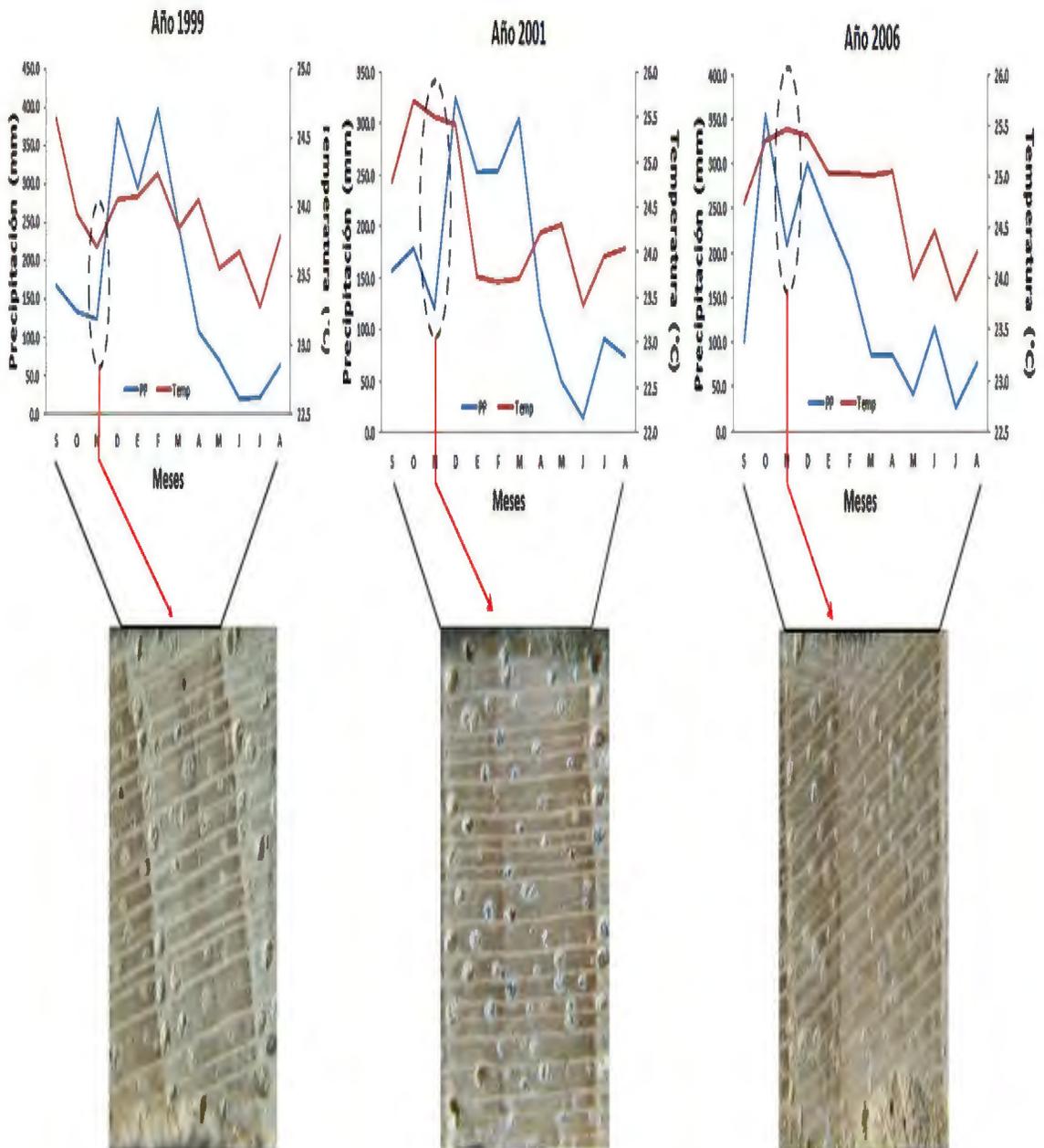


Figura 29 Formación y presencia de falsos anillos de crecimiento en el mes de Noviembre en los años 1999, 2001 y 2006

## 5. CONCLUSIONES

- La especie *Tectona grandis* L. f. forma anillos de crecimiento anuales.
- Al año 2010 la edad de la plantación de “Teca” fue de 25 años.
- La especie *Tectona grandis* L. f. tiene una relación directa entre el crecimiento en diámetro del fuste y la precipitación, es decir la correlación es alta entre el crecimiento y la precipitación.
- Se identificaron en el perfil de crecimiento tres raleos que modificaron significativamente el crecimiento de la plantación realizados en los años 1999, 2001 y 2006.
- La mayor tasa de crecimiento se encontró en la clase diamétrica de 20 a 30 cm entre los años 23 al 25 (2007 al 2009) y la menor tasa de crecimiento se encontró en clase diamétrica de 10 a 20 cm entre los años 1 al 15 (1986 al 1999).

## **6. RECOMENDACIONES**

- Relacionar el clima y el crecimiento de los árboles a través de estudios que contemplen: Series cronológicas de mayor número de años, largos registros de todas las variables climáticas (temperatura, precipitación, evapotranspiración, etc.), conocimiento detallado de la biología y fenología de las especies con monitoreo mensual, y árboles de la misma o diferente edad desarrollándose en condiciones similares (clima, suelo, temperatura).
- La “Teca” se considera una especie con potencial para reconstrucciones climáticas en la zona San Ramón.
- Se recomienda la instalación de una estación meteorológica cerca al área de estudio para facilitar el estudio de plantaciones de la zona.
- Realizar el análisis de fuste, considerando alturas de los árboles, como variable para estimar volúmenes en plantaciones.

## *BIBLIOGRAFÍA*

- ANTÓN, D. y REYNEL, C.** 2004. “Relictos de Bosques de Excepcional Diversidad en los Andes Centrales del Perú”. Lima: Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales-UNALM. 323 p.
- BACILIERI, R.; ALLOYSIUS, D. Y LAPONGAN, J.** 1998. “Growth Performance of Teak. In Proceeding of the Seminar on High Value Timber Species for plantation Establishment-Teak and Mahoganies”, 1-2 December 1998. Tawau, Sabah. 27-34 p. (JIRCAS Working Report no. 16).
- BALOONI, K.** 2000. Programas de inversión en plantaciones de “Teca”: perspectiva desde la India. LA TECA. UNASYLVA. 51 (201) 2000/2: 22 – 28.
- BEARD, J.** 1943. “The importance of race in Teak, *Tectona grandis* L.” Caribbean Forester (P.R.) 4(3): 135 – 139.
- BHAT, K. M. y MA, H. O.** 2004. Teak growers unite. ITTO Tropical Forest Update 14/1. Disponible en: [www.itto.int/direct/topics/topics\\_pdf\\_download/topics\\_id=6670000;no=1](http://www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=6670000;no=1). Acceso en: 15 de Octubre 2011.
- BOTOSSO, P. y VETTER, R.** 1991. Alguns aspectos sobre a periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais de floresta de Terra Firme (Amazônia). Revista do Instituto Florestal, São Paulo. 3(2):163–180.

- BOTOSSO, P. y TOMAZELLO FILHO, M.** 2001. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARELLA, W. (Org.). Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC. p. 145-171.
- BOTOSSO, P. C. y MATTOS, P. P.** 2002. “Conhecer a Idade das árvores: Importância e aplicação”. Embrapa Floresta. Documentos 75. ISSN 1517 – 536X. Novembro, 2002. Colombo, PR. Brasil. 22 p.
- BRIENEN, R. y ZUIDEMA, P.** 2005. (a) “Relating tree growth to rainfall in Bolivian rainforests: a test for six species using tree ring analysis”. *OECOLOGIA* (2005) 146: 1–12.
- BRIENEN, R. y ZUIDEMA, P.** 2005. (b) “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. chap. 2, (Scientific Series, 10). p 19-34.
- BRIENEN, R.; ZUIDEMA, P. y DURING, H.** 2006. “Autocorrelated growth of tropical forest trees: Unraveling patterns and quantifying consequences”. *Forest Ecology and Management* 237 (2006) 179–190.
- BRIENEN, R. y ZUIDEMA, P.** 2006. “Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis” *Journal of Ecology* (2006) 94, p. 481–493.
- BRISCOE, C.B.** 1995. “Silvicultura y manejo de Teca, melina y pochote”. CATIE / MADELEÑA. Serie técnica. Informe técnico No. 270. Turrialba, C.R. 43 p.

- BULNES, F. et al.** 2007. "Informe de la evaluación forestal de la plantación de "Teca" (*Tectona grandis*) en el fundo la Génova". Junín. Perú. 16 p.
- CAMPOS L.** 2009. "Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonía, Región Loreto – Perú". Universidad Nacional Agraria – La Molina. EPG. 126 p.
- CAMPOS L. et al.** 2010. "La Teca en Brasil y su importancia en la industria forestal". Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de Sao Paulo e Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana - IIAP, Loreto - Perú. 4 p.
- CENTENO, J. C.** 2001. "The management of Teak plantations". Disponible en: [www.itto.org.jp/newsletter/v7n2/10management.html](http://www.itto.org.jp/newsletter/v7n2/10management.html). Acceso en: 16 set. de 2011.
- CHAGAS, M.** 2009. "Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronología de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP. Piracicaba". 114 p.
- CHAVEZ, E. y FONSECA, W.** 1991. "Teca: *Tectona grandis* L.f., especie de árbol de uso múltiple en América Central". Proyecto Cultivo de árboles de Uso múltiple (Madeleña) CATIE-ROCAP. Serie técnica, Informe técnico 179. 47 p.
- COOK, E.R.** 1985. A time series analysis approach to tree-ring standardization. Thesis (PhD in Management of Watersheds). Arizona, US: University of Arizona, Tucson. 171 p.

- COOK, E.R.** 1989. "A conceptual linear aggregate model for tree rings". In: COOK, E.R.; KARIUSTUS, A. (Ed.). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic. p. 102-103.
- COOK, E. y KAIRIUKSTIS, L.** 1989. "Methods of dendrochronology: application on the environmental sciences". Dordrecht: Kluwer Academic. 394 p.
- CÓRDOVA, E.I.** 2003. *Reconstrucción climática a partir del anillado de los árboles de la costa norte del Perú*. Tesis (Ingeniería Industrial). Piura, PE: Universidad de Piura, Piura. 143 p.
- CRUZ, P. et al.** 2007. "Análisis de crecimiento de árboles maduros de lenga (*Nothofagus pumilio*) en bosques de la XII Región, Chile". *BOSQUE* 28 (1): 18 – 24, 2007.
- DELGADO S.C.** 2000. "Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos". In: ROIG, F.A. (Comp.). *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo. p. 79-102.
- DÉTIENNE, P.** 1989. Appearance and periodicity of growth in some tropical wood. *IAWA Bulletin*. 10:123-132.
- DEVALL, M.; PARRESOL, B. y WRIGHT, S.** 1995. Dendrochronological analysis of *Cordia Alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in Central Panama. *IAWA Journal*. 16: 411 - 424.
- DOETZER, M. et al.** 2003. "Análise de tronco digital: Uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento". *REVISTA FLORESTA* 33(3) 235-255. Brasil.

- DÜNISH, O. et al.** 2002. "Light, water and nutrient demand for the growth of three high quality timber species (Meliaceae)". *Journal of Applied Botany*, Göttingen, v. 76, p. 29-40
- DUNISH, O.; RIBEIRO, V. y BAUCH, J.** 2003. "Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon". *Trees*.17:244–250.
- DUPUY, B. y VERHAEGEN, D.** 1993. "Lê teck de plantation *Tectona grandis* em Cote d'Ivoire". *Bois et Forêts des Tropiques*, n. 235, p. 9-24.
- FAO.** 1977. "Elaboración de una tabla de volumen y un estudio de incremento para "Teca" (*Tectona grandis*) en el Salvador". FAO. FO.DP ELS/73/004. Documento de Trabajo N° 14. 53 p.
- FRITTS, H. C.** 1976. "Tree Ring and Climate". Laboratory of Tree Ring, research University of Arizona-Tucson. U.S.A. 567 p.
- GIRALDO, J. A. y DEL VALLE, J.** 2011. "Estudio del crecimiento de *Prioria copaifera* (Caesalpinaceae) mediante técnicas dendrocronológicas". Grupo de Bosques y Cambio Climático. Universidad nacional de Colombia Sede Medellín, Departamento de Ciencias Forestales. Colombia. 30 p.
- GOICHE-TELLES, R. et al.** 2003. "Densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* antes y después de un aclareo". INCI. Caracas. 28(12):705-709. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442003001200007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003001200007&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0378-1844.

**GONÇALVES, G. V.** 2007. "Dendrocronología: principios teóricos, problemas prácticos e aplicabilidade". CIDEHUS, Universidade de Évora, Portugal, 16 p.

**GRISSINO-MAYER, H.D.** 2001. "Evaluating crossdating accuracy: manual and tutorial for the computer program COFECHA". Tree Ring Research, Tucson, v. 57, p. 205-221.

**GRUPO TECNOLOGIA APROPIADA.** 1984. "Árboles para leña y madera combinados con cultivos anuales". Panamá, Pan., GTA – RENARE/CATIE. 24 p.

**HOLMES, R.L.; ADAMS, R.K. y FRITTS, H.C.** 1986. "Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: Treering chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin". Tucson: ArizonaUniversity. p. 15-35.

**HOLMES, R.** 1994. "Dendrochronology: program manual. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research". 40 p.

**IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA).** Disponible en:  
[http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/atlasescolar/mapas\\_pdf/mundo\\_planisferio\\_politico\\_a3.pdf](http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/atlasescolar/mapas_pdf/mundo_planisferio_politico_a3.pdf). Acceso en: 15 de Octubre 2011.

**KEOGH, R. M.** 1979. Does teak have a future in tropical America?. UNASYLVA. 31(126):13 - 19.

**KRISHNAPILLAY, B.** 2000. Silvicultura y ordenación de plantaciones de Teca. LA TECA. UNASYLVA. 51(201) 2000/2:14 – 21.

**LAMPRECHT, H.** 1990. "Silvicultura en los trópicos". Traducido por Antonio Carrillo. GTZ. Eschborn. 335 p.

**LISI, C. et al.** 2008. "Tree – ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi – deciduous Forest in southeast Brazil". IAWA Journal, Vol. 29 (2), 2008: 189 – 207.

**LOPEZ, J. et al.** 2006. "Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima, México". Agrociencia, julio – agosto, año/vol. 40, numero 004. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. p. 533 – 544.

**LOUMAN, B.; QUIROS, D. y NILSSON, M.** 1999. "Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central". CATIE, Costa Rica. 264 p.

**LLAVE, A.** 2008 "Factor de conversión en aserrío para trozas provenientes de una plantación de "Teca" (*Tectona grandis*) en Chanchamayo - Junín". Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNALM. Lima, Perú. 74 p.

**MONTERO, M.; UGALDE, L. Y KANNINEN, M.** 2001. "Relación del índice de sitio con los factores que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica". CATIE, Revista Forestal Centroamericana. 35: 13-28 p.

**MOSCHLER, W.; DOUGAL, E.; MCRAE, D.** 1989. "Density and growth ring characteristics of *Pinus taeda* L. following thinning". *Wood Fiber Sci.* 21: 313-319.

- NALVARTE, W.; KROLL, B. y LOMBARDI, I.** 1993. “Plan Maestro: Unidad Modelo de Manejo y Producción Forestal Dantas”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Lima – Perú. 149 p.
- OLIVEIRA, B.** 2011. “Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de *Tectona grandis* L. f., do município de Cáceres, MT”. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) INSTITUTO DE FLORESTAS CURSO DE PÓS – GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS. Seropédica, RJ. Brasil. 80 p.
- PEÑA, M.** 1981. “La Teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. DGF (C.R.)”. Informe Divulgativo no. 34. 18 p.
- PRIYA, P.B. y BHAT, K.M.** 1999. “Influence of rainfall, irrigation and age of the growth periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*)”. IAWA Journal 20: 181-192.
- PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN D. y SASS, U.** 1995. “Tree-ring research on *Tectona grandis* in Northern Thailand”. IAWA Journal, n. 16, v.4, p. 385–392.
- REBOTTARO, S. Y CABRELLI, D.** 2007. “Crecimiento y rendimiento comercial de *Pinus elliotii* en plantación y en regeneración natural manejada con raleos en Entre Ríos, Argentina”. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Dasonomía. Argentina. Bosque (Valdivia) 28(2) Valdivia. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002007000200008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002007000200008&script=sci_arttext). Consultado el 16 de Octubre del 2011.

- RIOS, P. I. M.** 2007. "Reflorestamento com "Teca" (*Tectona grandis* L.F.) na região de Pau D'arco-PA". Boletim Técnico, 56 p.
- RODRIGUEZ – ORTIZ, G. et al.** 2011. "Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo". Rev. Fitotec. Mex. Vol. 34 (3): 205 – 212, 2011.
- ROIG, F. A.** 2000. "Dendrocronología en los bosques del neotrópico: revisión y prospección futura". IN: ROIG, F. A. Dendrocronología en América Latina Mendoza: EDIUNC. p. 307-355.
- ROSETO-ALVARADO, J.** 2009. Dendrocronología de árboles de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Perú. Tesis (Mag. Sc). Piracicaba: ESALQ/USP, BR, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 131 p.
- ROSETO-ALVARADO, J.** 2011. "Análisis Dendrocronológico de tres especies forestales del Bosque seco Ecuatorial Estacional". Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal - Facultad de Ciencias Forestales. UNALM. Lima. Perú. 124 p.
- ROSOT, M. A. D.; DISPERATI, A. A. y FIGUEIREDO Fº, A. F.** 2001. "Medição da área de anéis de crescimento usando imagens digitais". Revista Árvore, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 79-88.
- SALISBURY, F.B. y ROSS, C.W.** 1994. "Fisiología vegetal". Nápoles: Grupo Editorial Iberoamérica. 159 p.

- SCHWEINGRUBER, F.** 1996. "Tree Rings and Environment Dendrochronology". Paul Haupt Publishers Berne. Stuttgart. 615 p.
- SCHWEINGRUBER, F.** 2007. "Wood Structure and Environment". Springer Series in Wood Science. New York – USA. 284 p.
- SHAHA, S. K.; BHATTACHARYYAA, A. y CHAUDHARYB, V.** 2007. "Reconstruction of June–September precipitation based on tree-ring data of teak (*Tectona grandis* L. f.) From Hoshangabad, Madhya Pradesh, India". *Dendrochronologia*, v. 25, p.57–64.
- TASSISSA, G. Y BURKHART, H. E.** 1997. "Modeling thinning effects on ring width distribution in loblolly pine (*Pinus taeda*)". *Canadian Journal of Forest Research*, Toronto, v. 27, p. 1291-1301.
- TOMAZELLO, M. y CARDOSO, N. S.** 1999. "Seasonal cambium variations of the vascular cambium of teak (*Tectona grandis* L. f.) in Brazil". *CAB international. Tree-Rings Analysis*, p. 147-154.
- TOMAZELLO, M.; BOTOSSO, P.C. y LISI, C.** 2000 "Potencialidade da família Meliaceae para estudos dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais" In: ROIG, F.A. (Comp.). *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo. p. 381-434.
- TOMAZELLO F., M.; BOTOSSO, P.C. y LISI, C.** 2001. "Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores". In: MAIA, N.; MARTOS, H.; BARRELLA, W. (Org.). *Indicadores ambientais conceitos e aplicações*. São Paulo: Educ. p. 117-143.

- TOMAZELLO FILHO, M.** 2006. "Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla*". Tese (Livre-Docência). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.135 p.
- VAIDES, E.** 2004. "Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de "Teca" (*Tectona grandis* L. f.), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala". CATIE. Programa de enseñanza para el desarrollo y la conservación. Escuela de Posgrado. 95 p.
- VÁSQUEZ, W y UGALDE, L.A.** 1994. "Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea* Roxb., *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica". Informe final, Convenio de Cooperación Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO). Proyecto Madeleña-3. Turrialba, CR. 132p.
- VÁSQUEZ, W y UGALDE, L.A.** 1995. "Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica". Convenio de Cooperación entre el Proyecto MADELEÑA 3/Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO/HOLANDA). Serie Técnica, Informe Técnico No. 256. 33p.
- VEIT, L. F.** 1996. Plante seu fundo de aposentadoria. Silvicultura, São Paulo. 17(68):20 - 22.
- VETTER, R.E.** 2000. "Growth periodicity and age for Amazonian tree species. method for their determination". In: ROIG, F.A. (Comp.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo. p. 135-155.

**VETTER, R. y BOTOSSO, P.** 1989. Remarks on age and growth rate periodicity of Amazonian trees. *IAWA Journal*, Leiden. 10(2):133-145.

**VIEIRA, A. H. et al.** 2002. "Aspectos silviculturais da "Teca" em Rondônia". *Embrapa CPAF*, Documentos 68, 8 p.

**WORBES, M.** 1995. "How to measure growth dynamics in tropical trees - A review". *Iawa Journal*, n. 16, p. 337-351.

**WORBES, M.** 1999. "Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela". *J. Ecol.* 87: 391-403.



278	Temperatura Media Mensual (°C)	1969					25.9	24.9	24.5	25.4	26.3	26.2	26.0	26.6
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1970	26.2	26.5	25.9	25.9	26.4	26.3	25.4	25.9	26.3	26.6	26.3	25.5
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1971	26.1	26.4	26.7	26.0	24.9	24.7	24.8	24.8	25.6	25.2	25.4	25.2
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1972	24.9	25.6	25.7	25.3	25.8	25.4	24.9	25.2	25.6	26.4	26.3	26.7
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1973	25.9	25.9	26.2	26.0	25.3	25.3	24.8	25.5	26.0	26.1	25.7	25.6
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1974	25.6		25.1	25.4	25.1	25.0	24.7	25.4	24.9	25.4	25.4	25.3
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1975	25.0	25.1	25.0	26.0	25.3	24.7	23.7	25.5	25.3			
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1976							24.7	25.4	26.0	26.0	26.1	26.1
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1977	26.5	25.3	25.5	26.0	26.0	25.2	25.8	26.0	26.4	26.4	26.0	26.1
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1978	25.9	26.4	25.6	25.9	25.5	24.9	25.0	24.7	25.5	25.9	26.0	25.5
278	Temperatura Media Mensual (°C)	1979	26.5	25.9	25.5	25.8	25.9	24.6	25.2	26.0	26.0	26.3	26.1	26.2

## ANEXO 2

### VARIABLES METEOROLÓGICAS ESTACIÓN “SATIPO”

Nombre Estación	Satipo	Latitud	11°13'12"
Departamento	Junín	Longitud	74°37'37"
Provincia	Satipo	Altitud	588
Distrito	Satipo		

Código	Variable	Año	01ENE	02FEB	03MAR	04ABR	05MAY	06JUN	07JUL	08AGO	09SET	10OCT	11NOV	12DIC
571	Precipitación (mm)	1964	80.3	104.7	173.9	90.5	56.0	14.1	74.5	37.5	119.0	189.0	153.3	142.0
571	Precipitación (mm)	1965	241.0	302.0	295.5	77.5	82.7	46.5	18.0	0.0	167.0	153.0	301.5	109.0
571	Precipitación (mm)	1966	332.5	87.0	101.5	26.0	222.0	0.0	74.0	90.5	185.5	131.0	124.0	246.0
571	Precipitación (mm)	1967	175.0		224.0	100.0		19.0	105.0	70.0	78.0	179.3	115.0	59.0
571	Precipitación (mm)	1968	107.0	138.0	136.0	82.0	31.1	40.0	30.0	0.0	46.0	134.0		
571	Precipitación (mm)	1969				116.2	71.0	74.3	0.0	153.8	56.0	262.0	78.0	
571	Precipitación (mm)	1970	193.9		226.3	143.6	71.6	80.0	31.0	46.8	95.9	152.3	74.9	277.1
571	Precipitación (mm)	1971	147.4	198.5	121.7	57.3	54.0	105.1	19.9	145.5	16.8	221.4	138.5	209.6
571	Precipitación (mm)	1972	265.0	226.7	187.7	83.4	187.8	23.3	37.1	183.7	138.9	171.3	272.2	208.1
571	Precipitación (mm)	1973	176.7	202.7	187.0	140.9	168.3	84.4	95.5	106.4	73.2	244.2	141.4	265.2
571	Precipitación (mm)	1974	273.7	191.8	183.2	194.6	81.4	14.0	88.0	125.9	25.0	98.8	120.2	191.6
571	Precipitación (mm)	1975	180.8	281.0	220.2	173.0	176.6	156.0	4.8	55.0	264.0	133.6	287.8	128.4
571	Precipitación (mm)	1976	241.6	272.8	192.8	64.6	59.0	281.4	29.2	112.6	335.0	116.0	87.0	285.9

571	Precipitación (mm)	1977	252.7	413.6	222.6	174.0	154.0	46.4	183.2	48.0	133.6	103.0	301.2	191.4
571	Precipitación (mm)	1978	468.2	209.8	285.2	125.8	256.8	35.4	5.2	23.2	146.5	209.2	187.6	383.2
571	Precipitación (mm)	1979	377.2	298.4	293.6	203.6	99.4	30.2	85.6	75.4	61.8	110.0	257.8	263.7
571	Precipitación (mm)	1980	322.4	309.6	272.4	175.2	61.8	59.2	24.2	36.8	118.2	266.6	87.6	150.6
571	Precipitación (mm)	1981	415.2	248.2	327.4	256.8	89.8	206.4	144.0	208.2				
571	Precipitación (mm)	1989	999.6	433.4	221.6	395.0	277.2	129.4	28.2	115.8	163.4	441.4	187.2	244.6
571	Precipitación (mm)	1990	542.2	414.4	289.4	152.8	480.0	248.6	83.6	379.6	275.4	408.6	322.8	214.0
571	Precipitación (mm)	1991	429.6	305.6	344.6	321.4	50.8	69.4	16.0	8.8	108.8	163.2	198.3	202.6
571	Precipitación (mm)	1992	239.8	318.4	444.2	130.4	97.6	269.2	70.6	377.8	235.6	151.2	193.6	251.2
571	Precipitación (mm)	1993	439.2	499.8	500.0	260.6	155.8	120.6	99.6	296.2	155.8	225.4	195.9	453.4
571	Precipitación (mm)	1994	646.4	565.0	537.4	239.6	128.6	19.6	22.4	49.0	168.3	347.2	205.6	221.0
571	Precipitación (mm)	1995	488.8	204.6	408.4	97.6	78.2	55.4	55.2	54.2	107.4	150.8	234.4	142.2
571	Precipitación (mm)	1996	954.9	751.9	472.4	463.5	132.7	241.1	67.3	157.6	17.8	59.0	50.3	88.1
571	Precipitación (mm)	1997	131.4	86.0	62.9	25.1	49.9	41.6	59.1	137.2	128.5	134.9	174.4	195.3
571	Precipitación (mm)	1998	231.7	306.2	210.2	137.4	27.2	47.3	6.1	81.4	183.7	338.9	184.6	240.7
571	Precipitación (mm)	1999	294.3	397.7	246.5	107.8	69.6	21.3	22.6	64.3	167.9	134.7	123.2	384.4
571	Precipitación (mm)	2000	273.7	216.0	278.1	101.1	108.9	49.6	40.5	112.7	89.0	100.2	206.9	160.3
571	Precipitación (mm)	2001	252.0	253.5	305.5	121.2	50.5	14.7	90.8	74.0	158.0	179.2	120.9	325.0
571	Precipitación (mm)	2002	160.0	296.4	191.0	82.4	105.4	5.1	156.1	116.7	135.4	224.2	152.9	283.0
571	Precipitación (mm)	2003	295.3	133.5	327.1	70.4	82.4	176.8	94.1	91.0	151.1	92.1	169.9	195.2
571	Precipitación (mm)	2004	286.3	313.4	141.1	87.6	96.8	39.5	140.5	138.4	69.3	176.2	321.0	139.2
571	Precipitación (mm)	2005	117.5	185.5	248.7	182.4	22.4	22.4	71.0	81.9	61.2	218.7	200.1	279.6
571	Precipitación (mm)	2006	237.8	180.5	84.8	85.9	41.8	117.4	27.0	77.1	101.0	354.7	208.6	301.0
571	Precipitación (mm)	2007	192.6	125.1	210.4	69.5	89.9	67.5	72.3	97.0	73.1	175.6	99.0	299.7
571	Precipitación (mm)	2008	304.6	349.6	161.9	246.0	88.2	33.1	76.0	55.3	81.8	190.9	100.7	162.7
571	Precipitación (mm)	2009	264.7	253.4	176.4	84.3	127.1	76.4	87.7	25.6	97.1	186.7	200.2	266.2
571	Precipitación (mm)	2010	419.7	282.6	175.2	80.3	49.9	112.4	50.1	52.2	31.3	129.8	158.0	247.0

571	Temperatura Media Mensual (°C)	1964	26.7	26.0	25.4	26.1	25.0	24.3	23.6	24.8	25.3	25.8	25.4	25.4
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1965	25.0	25.1	25.5	25.5	25.7	25.0	24.1	24.9	25.5	26.2	25.9	25.4
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1966	26.4	25.7	25.8	25.1	24.3	24.2	23.1	23.6	24.5	25.5	25.7	24.9
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1967	24.8	24.2	23.9	24.4		23.6	22.7	23.3	24.4	24.4	26.1	25.3
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1968	24.5	24.7	24.7	25.2	24.0	23.8	23.9	24.5	24.8	25.4		
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1969				26.8	26.1		25.4	26.3	26.0	26.7	27.0	26.5
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1970	26.8	26.1	24.7	25.6	24.7	24.2	23.7	24.3	24.0			
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1971	24.0				24.0		23.2	23.8	24.8	24.7	25.3	24.7
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1972	24.0	25.0	25.2	25.1	24.9	24.3	23.7		24.9	25.4	25.0	26.0
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1973	25.4	25.1	25.3	25.5	25.0	24.5	23.8	24.1	24.5	25.5	25.0	24.7
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1974	23.8	24.1	25.0	24.9	23.9	24.3	23.0	23.4	24.9	25.2	25.6	25.2
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1975	24.8	24.6	25.0	25.1	24.5	23.5	23.5	24.3	24.3	25.4	24.9	24.9
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1976	24.7	24.4	25.1	25.1	24.6	23.9	23.4	23.6	24.1	25.6	25.7	25.5
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1977	24.7	24.2	25.2	25.2	23.7	23.6	23.3	23.7	24.3	25.1	24.3	25.2
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1978	24.1	25.4	24.3	24.3	24.3	23.9	24.0	23.5	24.9	26.2	26.2	25.7

571	Temperatura Media Mensual (°C)	1979	25.7	25.2	25.2	25.2	25.4	23.6	23.6	25.5	26.0	26.7	27.0	26.2
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1980	26.0	25.9	24.5	25.7	25.4	24.5	24.3	24.3	24.9	24.4	26.4	24.8
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1981	24.9	24.2	25.0	25.3	24.0	23.9	22.4	23.7				
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1989	23.3	24.7	26.3	26.0	26.7	24.6	23.8	24.7	25.3	26.2	26.6	26.2
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1990	24.7	25.0	25.4	24.9	24.4	23.8	22.5	23.9	24.8	26.2	27.0	27.0
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1991	26.4	26.4	26.8	26.2	26.8	26.3	24.4	24.2	25.0	25.4	25.7	27.0
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1992	27.6	27.0	27.4	27.1	27.3	25.5	24.6	23.9	24.9	26.3	25.9	26.0
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1993	26.1	26.5	26.4	26.4	24.8	23.1	22.8	23.8	24.8	24.4	25.4	25.2
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1994	24.8	24.8	24.9	25.0	24.5	24.0	23.7	24.1	24.7	25.4	25.4	25.2
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1995	24.9	24.9	24.7	25.3	24.0	24.3	24.0	25.4	25.5	26.3	26.8	26.8
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1996	25.3	25.8	25.8	25.5	25.2	24.7	23.6	24.7	26.2	27.1	26.8	25.9
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1997	25.5	25.0	25.7	25.9	25.2	24.6	24.6	23.6	25.1	25.8	25.8	25.4
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1998	25.8	25.8	25.7	25.4	24.7	23.6	24.3	24.9	25.2	25.0	24.9	24.9
571	Temperatura Media Mensual (°C)	1999	24.1	24.2	23.8	24.1	23.6	23.7	23.3	23.8	24.6	24.0	23.7	24.1
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2000	23.9	24.1	24.4	24.3	24.7	24.3	23.1	23.9	24.1	24.3	25.4	24.6

571	Temperatura Media Mensual (°C)	2001	23.7	23.7	23.7	24.2	24.3	23.4	24.0	24.1	24.8	25.7	25.5	25.4
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2002	25.2	24.5	24.8	25.3	24.6	23.9	23.4	23.9	24.0	25.2	24.9	25.1
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2003	25.3	25.3	25.2	24.9	24.7	24.6	23.7	23.8	24.5	25.8	25.6	25.1
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2004	25.5	24.9	25.4	25.5	24.0	23.2	23.4	23.0	23.6	25.2	25.1	25.0
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2005	25.0	25.0	25.0	25.4	25.0	24.5	23.6	24.1	24.4	25.0	25.2	25.1
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2006	25.0	25.0	25.0	25.0	24.0	24.5	23.8	24.3	24.7	25.4	25.5	25.4
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2007	25.5	25.2	25.0	25.4	24.3	24.6	23.9	24.2	24.6	24.9	24.8	25.0
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2008	24.9	24.9	25.0	25.0	24.4	24.0	24.2	24.7	24.6	25.3	25.7	25.0
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2009	24.3	24.2	25.3	25.0	24.8	23.8	23.8	24.7	24.6	25.3	25.3	24.7
571	Temperatura Media Mensual (°C)	2010	24.9	25.5	25.1	25.7	25.0	24.6	23.4	24.2	24.8	25.3	25.1	24.4