



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Dendrocronología de *Quercus laurina*
(Fagaceae) en Chapa de Mota, Estado de México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL

TÍTULO DE BIÓLOGO

P R E S E N T A :

David Juárez Guerrero

Director de Tesis

M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno



Los Reyes Iztacala, Febrero, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Al M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno, por dirigir este trabajo y alentarme de ser pionero en esta rama de la investigación, en especial por todas aquellas ocasiones en que me apoyo de forma académica y personal, por las oportunidades que me ha brindado y sobre todo por creer en mí.

A la Dr. Silvia Romero Rangel, por sus valiosos consejos, su confianza y asesoramiento, dedicándome parte de su tiempo.

Al Dr. Raymundo Montoya Ayala, por el asesoramiento en la obtención de los datos climáticos y por mostrarse siempre amable.

A mis sinodales: M. en C. Leonor Abundis Bonilla y Ángel Durán Díaz, por sus revisiones en esta tesis.

A mis padres, por ese cariño que siempre me han dado todos estos años, porque siempre están ahí acompañándome, no podría expresar todo el agradecimiento que siento por ustedes GRACIAS!!

A mis hermanos Daniel y Gabriel, por su apoyo en los buenos y malos momentos aunque no lo parezca, sé que siempre están ahí y me apoyan.

A Nat, por tu compañía, amistad, confianza y paciencia de estar conmigo, durante toda la carrera.

A la banda ñoña: Nat, Edgar, Cris, Mike, Sergio, Mau y Aleida, por su amistad y vivencias que hemos pasado juntos, y claro también a Jime por su confianza, buen humor y amabilidad.

A mis amigos de la prepa que nos reunimos cada “año”, en especial a Fer y Charly que no perdemos contacto, a pesar de tomar caminos diferentes.

A todos ustedes ¡gracias! por han hecho que todo esto sea posible.

Dedicado

A mis padres

Porque son mis ejemplos de vida, me llenan de fortaleza y alegría y otra vez, me vuelvo a quedar sin palabras para expresar todo lo que siento por ustedes.

A mis hermanos

Porque juntos hacemos la mejor familia.

Finalmente a ti Nat

Porque siempre tratas de comprenderme a pesar de lo difícil que soy y porque constantemente eres mi inspiración.

*“Así pues
desde este misterioso confín de la existencia
los otros me ampararon como árboles
con nidos o sin nidos
poco importa
no me dieron envidia sino frutos”*

Mario Benedetti

Índice

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
MARCO TEÓRICO	9
XILEMA	9
DENDROCRONOLOGÍA.....	9
GENERALIDADES DEL GÉNERO <i>QUERCUS</i>	11
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE <i>QUERCUS LAURINA</i> (ROMERO ET AL., 2002).....	11
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA MADERA DE <i>QUERCUS LAURINA</i>	14
<i>Características generales</i>	14
<i>Características microscópicas</i>	15
EDAFOLOGÍA Y SEQUÍA.....	16
DESCRIPCIÓN DE LA COMUNIDAD VEGETAL	16
PRINCIPIO DE INDIVIDUALIDAD	17
ANTECEDENTES	18
<i>Estudios realizados sobre dendrocronología en México</i>	18
<i>Estudios realizados sobre dendrocronología en otros países</i>	19
<i>Estudios realizados en el municipio de Chapa de Mota</i>	20
<i>Estudios realizados sobre la madera de Q. laurina</i>	21
<i>Estudios realizados sobre los anillos de crecimiento</i>	21
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS PARTICULARES	23
ÁREA DE ESTUDIO	24
<i>Chapa de Mota</i>	24
<i>Cerro Las Ánimas</i>	24
METODOLOGÍA	28

Dendrocronología de *Quercus laurina* ...

TRABAJO DE CAMPO	28
TRABAJO DE LABORATORIO	30
RESULTADOS	34
<i>Distribución diamétrica de Quercus laurina en el bosque de encino.....</i>	<i>34</i>
<i>Estructura vertical de Quercus laurina en el bosque de encino.....</i>	<i>35</i>
<i>Distribución horizontal de Quercus laurina en el bosque de encino.....</i>	<i>36</i>
<i>Correlación entre diámetro, altura y cobertura</i>	<i>37</i>
<i>Procedimiento sobre la preparación de series de crecimiento</i>	<i>39</i>
<i>Identificación de los anillos de crecimiento de Q. laurina y su grosor.....</i>	<i>40</i>
<i>Edad de las series de crecimiento y de los árboles de Quercus laurina.....</i>	<i>43</i>
<i>Registro de los datos de precipitación y temperatura.....</i>	<i>44</i>
<i>Correlación entre las 16 series de crecimiento con la precipitación y</i> <i>temperatura.....</i>	<i>45</i>
<i>Correlación entre clases de diámetro con precipitación y temperatura</i>	<i>48</i>
<i>Correlación de la serie maestra con la precipitación y temperatura.....</i>	<i>49</i>
<i>Caracterización edáfica</i>	<i>50</i>
<i>Caracterización florística</i>	<i>50</i>
DISCUSIÓN	51
CONCLUSIONES	58
LITERATURA CITADA.....	59
APÉNDICE I.....	65
APÉNDICE II.....	66

RESUMEN

En México existen pocos estudios dendrocronológicos, los cuales se basan en los anillos de crecimiento de las plantas leñosas que crecen a razón de un anillo por año. En bosques de *Quercus*, género que presenta un centro de diversificación muy importante en México, con especies endémicas como es el caso de *Q. laurina*. El objetivo fue determinar si existía una relación entre el crecimiento radial de una población de *Q. laurina* en el Estado de México con las variables climáticas de precipitación y temperatura, además, encontrar un procedimiento adecuado sobre la preparación de las series de crecimiento de los encinos.

Se encontró que lo más adecuado es, evitar el pulido de las series de crecimiento que tapan el lumen de los vasos dificultando el reconocimiento de los mismos. El análisis de una serie de patrones que sigue los vasos y parénquima axial, sirvió en la identificación de los anillos de crecimiento, determinando la edad de cada individuo muestreado; las edades de los encinos no rebasaron los 60 años, determinando una población joven.

Los árboles de mayor edad fueron los árboles de mayor diámetro, quienes mostraron una relación directa entre su crecimiento radial con la precipitación, mientras que, la temperatura no mostró ninguna relación con el crecimiento radial. Por lo que la principal variable climática que influye sobre el crecimiento de los encinos es la precipitación. Por lo que es posible realizar estudios dendrocronológicos en *Q. laurina*.

INTRODUCCIÓN

La dendrocronología es una ciencia relativamente “nueva”, empezó con Andrew E. Douglass, conocido como “El Padre de la Dendrocronología” en el año 1901; para México, hasta apenas en 1999, se estableció el primer laboratorio de Dendrocronología en el INIFAP, único en el país (Villanueva *et al.*, 2004), dando un gran impulso en los comienzos de sus múltiples aplicaciones.

Los estudios dendrocronológicos, se basan en los anillos de crecimiento de las plantas leñosas constituyendo una fuente de información para diversas disciplinas científicas como la biología, ecología o incluso las ciencias de la tierra. A partir de la datación exacta de los árboles por medio de la dendrocronología se han generado subespecialidades tales como: la dendroclimatología (Miranda *et al.*, 2007), un método indirecto o “proxy” para analizar el clima pasado (Villanueva *et al.*, 2004) y presente; la dendroarqueología, datación de maderas históricas; dendroecología, estudio de la ecología de las comunidades bióticas; y la dendrogeomorfología, análisis temporal de los procesos geomórficos (Miranda *et al.*, 2007).

Los parámetros climáticos ocurridos en el pasado son difíciles de conocer por medio de los registros de las estaciones meteorológicas, debido a que no existen registros del clima mayores de 100 o 200 años. Sin embargo, a través de estudios dendrocronológicos es posible reconstruir datos de clima de cientos y en ocasiones hasta de miles de años (Arreola-Ortiz *et al.*, 2010).

En México los bosques de *Quercus* o encinares, presentes en los climas templados, donde los árboles crecen a razón de un anillo por año, acumulan estos anillos en la madera que nos proveen información, que puede ser usada como registro de las condiciones ambientales donde los árboles se desarrollan. Lo que permite asociar árboles de la misma especie y establecer una cronología que puede remontarse hasta varias decenas o miles de años atrás. Las características estructurales de la madera, como los anillos de crecimiento, longitud, diámetro y grosor de la pared de los elementos

traqueales, pueden revelar detalles de la historia natural de una especie y de su ecosistema (Jagels *et al.*, 1994).

El género *Quercus*, comprende aproximadamente 500 especies de árboles y arbustos distribuidas en el Hemisferio Norte (Nixon, 1989; citado en Martínez, 2002) y presenta un centro de diversificación en México con aproximadamente 161 especies (Valencia, 2004). Los encinares son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México, junto con los pinares constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de áreas de clima templado y semihúmedo (Rzedowski, 1988).

Quercus laurina es una especie endémica de México, pertenece a la sección *Lobatae* (encinos rojos), de acuerdo a la clasificación del género *Quercus* propuesta por Nixon (1993), que crece de manera natural en climas templados, pero se puede adaptar a condiciones climáticas diversas que pueden ir desde zonas semiáridas a muy húmedas, en altitudes de 2 240 a 3 150 msnm y que se puede incorporar a zonas urbanas y suburbanas, por su adaptabilidad climática y su capacidad de soportar la contaminación del aire, permitiéndole una amplia distribución en el centro del país, lo que la hace una especie con posible uso dendrocronológico. Entre sus usos más comunes se usa como leña, la cual se recolecta a lo largo de todo el año y los árboles desramados se emplean como postes; también es utilizado como una especie ornamental por su rápido crecimiento (Chacalo y Corona, 2009). El aprovechamiento, transporte y almacenamiento de la leña para uso doméstico del encino está regulado por la NOM-012-RECNAT-1996.

MARCO TEÓRICO

Xilema

El sistema vascular de las plantas superiores está constituido por el xilema, cuya función principal es el transporte de agua y solutos. El xilema que se desarrolla a partir de la actividad del cámbium vascular se llama xilema secundario. La estructura del xilema secundario se compone de dos sistemas de elementos que difieren en la orientación de sus ejes longitudinales: uno es vertical y el otro horizontal. El sistema horizontal comprende los radios medulares, mientras que el vertical está formado por los vasos, fibras y parénquima leñosos. Las células vivas de los radios y las del sistema axial se encuentran generalmente en conexión hasta el punto de que resulta posible hablar de un sistema continuo de células vivas. El sistema está generalmente en conexión con las células vivas de la médula, del floema y del córtex (Fahn, 1978).

El xilema secundario de las dicotiledóneas es más complejo que el de las gimnospermas; el leño de las dicotiledóneas contiene elementos que varían en tamaño, forma, tipo y disposición; en el xilema secundario del género *Quercus* se encuentran vasos, traqueidas, fibrotraqueidas, fibras leñosas, fibras mucilaginosas, parénquima leñoso y radios de diferentes tamaños (Fahn, 1978).

Dendrocronología

La palabra dendrocronología, de origen griego: *dendros* que significa árbol, *chronos* tiempo y *logos* conocimiento, hace referencia al estudio o conocimiento de la edad de los árboles (Fritts, 1976).

En lugares donde las estaciones del año son muy marcadas, particularmente en regiones templadas y frías, los árboles producen un anillo de crecimiento por año, en el cual se registran las condiciones climáticas que se presentaron antes o durante la estación de crecimiento. De acuerdo a lo anterior, se pueden diferenciar patrones en el ancho, densidad y composición isotópica de los anillos, que reflejan las fluctuaciones climáticas durante su formación (Villanueva *et al.*, 2008). La relación entre clima y el ancho de anillo,

ocurre debido a que el crecimiento de la planta está influenciado por diversos factores ecológicos, los cuales pueden afectar el crecimiento y la forma de muchas estructuras que lo constituyen (Fritts, 1976).

El patrón de crecimiento de los árboles se establece normalmente a partir de la identificación y recuento de bandas de la madera temprana y la tardía, estas bandas con diferentes características ópticas en la madera (Gené *et al.*, 1993). Las células (traqueidas) de la madera temprana se forman al inicio de la época de crecimiento, durante un período rápido de crecimiento radial; en la madera tardía, la actividad del cambium decrece y las traqueidas presentan paredes gruesas con cavidades progresivamente más chicas, este contraste de las últimas células con las primeras del año siguiente, es lo que delimita a un anillo de crecimiento anual (Villanueva *et al.*, 2004). En aquellos casos en que la identificación de este tipo de señales resulta difícil o imposible se recurre al análisis del patrón que siguen los vasos conductores a lo largo del anillo: en la madera de tipo poroso los vasos de mayor tamaño están agrupados en la zona inicial del anillo de crecimiento, mientras que los de menor tamaño se disponen al final del mismo, siendo muy acusada la transición entre los dos tipos de vasos; en la madera de tipo difuso todos los vasos son de diámetro parecido y están presentes a lo largo de todo el anillo; un caso intermedio entre los dos anteriores lo constituye la madera de tipo semiporoso o porosidad semianular, en la que los vasos se distribuyen a lo largo de todo el anillo, pero están desigualmente espaciados y son de diámetro ligeramente decreciente desde el inicio hasta el final del periodo de crecimiento (Gené *et al.*, 1993). Este último tipo de porosidad en la madera esta presente en *Q. laurina*, especie utilizada para este estudio.

A una determinada secuencia de anillos extraída del fuste principal del árbol con un taladro de Pressler, se le denomina “serie de crecimiento”, incremento radial o viruta (Constante *et al.*, 2009). En este estudio se utilizan estos términos indistintamente.

Un aspecto importante en el desarrollo de estudios dendrocronológicos es seleccionar adecuadamente el arbolado. Los árboles que mejor captan la señal climática son aquellos localizados en terrenos de ladera con poca disponibilidad de humedad, donde los individuos están más limitados por la humedad y son más susceptibles a

registrar la señal climática (Villanueva *et al.*, 2004). Esta disponibilidad de agua para el crecimiento de los árboles depende exclusivamente del agua de lluvia almacenada en el perfil del suelo, que suele ser pobre y poco profundo (Villanueva *et al.*, 2009).

Generalidades del género *Quercus*

En México el género *Quercus* se les encuentra formando bosques de encino, comunidades muy características de la zonas montañosas, junto con el género *Pinus* constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de áreas de clima templado y semihúmedo; aunque también se les encuentra en regiones de clima caliente al igual que en regiones francamente húmedas, siendo elementos del bosque tropical perennifolio y bosques mesófilo de montaña, y aún, existiendo en las semiáridas siendo parte del matorral xerófilo, asumiendo con frecuencia forma arbustiva (Rzedowski, 1988).

El género *Quercus* se encuentran desde el nivel del mar hasta los 3100 m de altitud aunque la mayoría se encuentran entre los 1500 y 3000 m., en lugares con precipitación entre 600 y 1200 mm y una temperatura media anual entre 10 y 26°C (Rzedowski, 1988).

Descripción morfológica de *Quercus laurina* (Romero *et al.*, 2002).

Quercus laurina (Fig. 1) Humb. & Bonpl. pl. Aeq. 2: 32. pl. 80. 1809. TIPO: México. Hidalgo: Cerro de las Navajas, cercanías de Morán, *Bonpland 4143* (isotipo, B!).

Sinónimos: *Q. barbinervis*, *Q. bourgaei*, *Q. lanceolata* y *Q. caeruleocarpa*.

Árbol: de 10 a 30 m de alto.

Hojas: jóvenes con pubescencia formada por tricomas estrellados pequeños y simples dispersos en haz y envés, con el tiempo ésta se reduce a las nervaduras central y primarias; hojas maduras rígidas, coriáceas, lustrosas, lanceoladas o elíptico-oblanceoladas, lámina (2)5 a 11(15.5) cm de largo por 1.5 a 4(6.5) cm de ancho, ápice agudo o acuminado y por lo general aristado, base redondeada, cordada, atenuada o cordada, borde entero o dentado, plano o revuelto, a veces ondulado, engrosado, con 1 a 5 aristas de cada lado, a veces se presentan sólo de un lado de la hoja, distribuidas en el tercio superior; nervaduras primarias de 4 a 12 en cada lado, rectas o ligeramente

curvadas, ascendentes, se ramifican antes del margen; haz verde lustroso, todas las nervaduras pálidas y elevadas, nervadura central pubescente en su base; envés lustroso, amarillo o a veces más pálido que el haz, pubescencia de tricomas estrellados estipitados, restringida por lo general a las axilas de las nervaduras primarias, donde se observan tricomas simples, blancos y escasos tricomas glandulares de color ámbar, epidermis papilosa, nervaduras elevadas; pecíolos de (2)5 a 15(22) mm de largo por 0.5 a 1.5 mm de diámetro, finamente pubescentes, glabrescentes.

Flores: Amentos masculinos de 3.5 a 4.5 cm de largo, raquis negro con tricomas largos, perianto de 2 a 3 mm diámetro, con los lóbulos largamente ciliados, anteras de 1.5 mm de largo, filamentos de 1 mm de largo.

Fruto: anual o bianual, solitario, en pares o en grupos de 3, sésiles o en pedúnculos de 3 a 12 mm de largo; cúpula hemisférica, de 10 a 15 mm diámetro, escamas leñosas, no engrosadas en la base, pubescentes, de ápice obtuso; bellota ovoide, pared del pericarpo lanosa, de 7 a 19 mm de largo por 7 a 12 mm diámetro, incluida un tercio de su largo en la cúpula.

Tronco: de 50 cm diámetro o más, corteza con grietas poco profundas y piezas chicas, de color gris oscuro.

Ramillas: de color gris, de 1 a 2.5 cm diámetro, pubescencia de tricomas estrellados pequeños; lenticelas menores de 0.5 a 3 mm de largo, de color claro u oscuro; yemas de 1.5 a 4 mm de largo, ovoides, agudas, de color castaño, escamas gruesas con el margen apical ciliado; estípulas de 3 a 6 mm de largo, oblanceoladas o subagudas, escariosas, membranosas, decíduas. Figura 1.

Reconocimiento: *Quercus laurina* se reconoce por sus hojas aristadas, el envés con pubescencia restringida a las axilas de las nervaduras. Esta especie posee similitud morfológica con *Q. affinis* y se distingue por poseer yemas florales de forma conoidal, base de las hojas cuneada y nervaduras planas; mientras que *Q. laurina* posee las yemas ovoides, base de las hojas atenuada o redondeada y nervaduras elevadas.

Distribución y hábitat: Especie endémica de México, se encuentra en los estados de Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Oaxaca, Tlaxcala y Zacatecas. En bosques de *Pinus-Quercus*, *Pinus-Abies*, bosque mesófilo de montaña y encinares perturbados, en altitudes de 2240-3150 m.

Fenología: Florece en abril y fructifica de junio a octubre.

Nombres populares: Chilillo, encino colorado, atualpitzahul, encino blanco, encino laurelillo, encino roble, encino xicatahua, tesmolera, encino hoja angosta, huitzalacate, encino prieto, encino uricua, encino chilillo.

Usos: Se utiliza para bancos, muebles rústicos, cabos de herramienta, vigas de construcción, papel Kraft y fabricación de chapa, (González, 1986) y como leña.

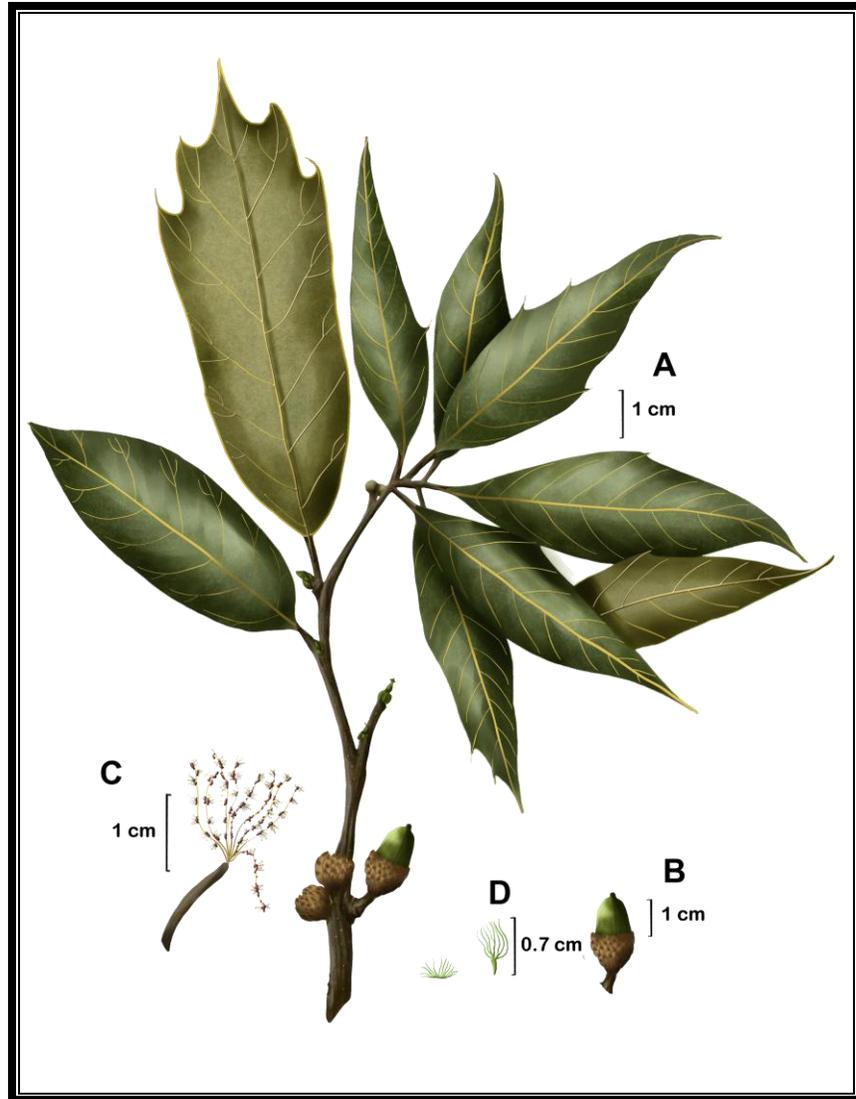


Figura 1. *Quercus laurina*. A. Rama con fruto y cúpulas; B. Fruto, bellota; C. Ramillas con amentos masculinos; D. Tricomas fasciculados estipitados. Tomado de “Encinos de México” (Prensa).

Descripción anatómica de la madera de *Quercus laurina*

Características generales

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen, es de color castaño rojizo claro (5YR 6/4), los radios multiseriados son de color castaño rojizo (2.5 YR 5/3) contrastando con los demás elementos celulares. No tiene olor ni sabor característicos, el brillo es mediano, el vetado pronunciado, la textura gruesa y el hilo

recto. Los anillos de crecimiento están marcados por una hilera de fibras y poros de mayor diámetro que los del resto de los anillos (De la Paz *et al.*, 2006), dura y pesada, presenta 0.82 de gravedad específica (Aguilar *et al.*, 2000).

Características microscópicas

Vasos. Porosidad semianular, los poros de la madera temprana son más grandes que los de la madera tardía, forman de una a dos hileras. Los poros son exclusivamente solitarios y se arreglan en hileras radiales y diagonales; siendo poco numerosos (De la Paz *et al.*, 2006), 4/mm² (Aguilar *et al.*, 2000), de contorno oval y circular, de diámetro tangencial mediano en la madera temprana y pequeño en la tardía. Los elementos de vaso son de longitud mediana (De la Paz *et al.*, 2006), con $517 \pm 68 \mu\text{m}$ (Aguilar *et al.*, 2000), con platina de perforación simple, paredes terminales oblicuas y punteaduras areoladas alternas de forma oval (De la Paz *et al.*, 2006) $7 \mu\text{m}$ de diámetro (Aguilar *et al.*, 2000). Las punteaduras vaso-radio son simples, con bordes reducidos y arreglo vertical. Alrededor de algunos vasos de la madera temprana se encuentran traqueidas vasicéntricas (De la Paz *et al.*, 2006).

Parénquima axial. Paratraqueal escaso y apotraqueal difuso en agregados con tendencia a ser diagonal (Aguilar *et al.*, 2000), algunas células presentan cristales de forma romboidal (De la Paz *et al.*, 2006).

Parénquima radial. Muy pocos radios, 1/mm; multiseriados de 18 a 35 células y 298 a 510 μm de ancho en la sección tangencial, frecuentemente agregados, homogéneos formados por células procumbentes, altos, con altura de 5 a 16 μm , radios uniseriados moderadamente numerosos, 7/mm, homogéneos, formados por células procumbentes, extremadamente bajos con $419 \pm 67 \mu\text{m}$ (314-597 μm) de alto (Aguilar *et al.*, 2000).

Fibras. Libriformes, moderadamente largas con $1704 \pm 229 \mu\text{m}$ (1138-2025 μm) de longitud, pared muy gruesa con 5.6 μm de espesor, diámetro de $19 \pm 2.5 \mu\text{m}$; con traqueidas vasicéntricas (Aguilar *et al.*, 2000).

Anillos. De crecimiento inconspicuos (Aguilar *et al.*, 2000).

Edafología y Sequía

La función de un sustrato al igual que el suelo es dar soporte físico, almacenamiento de agua y nutrientes, (Valenzuela *et al.*, 2005) para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La Sociedad Ecológica Británica, ha realizado diferentes proyectos para demostrar la importancia del factor suelo para las plantas. Han demostrado que las diferencias en las características de los suelos pueden influir en los siguientes aspectos: tamaño y erguimiento de la planta, calidad leñosa del tallo, susceptibilidad a las sequías, heladas y parasitosis, etc (Daubenmire, 1990; citado en Paredes, 2010).

La sequía referente a poblaciones o comunidades vegetales se asocia *a priori* con la falta de agua (en una cantidad suficiente para limitar su crecimiento y desarrollo); los individuos de género *Quercus* muestran respuestas morfofisiológicas y fenológicas al estrés hídrico (Matus *et al.*, 2010).

Descripción de la Comunidad Vegetal

Quercus puede presentarse en bosques puros de encinos dominados por una o varias de sus especies, sin embargo, frecuentemente se les encuentra dentro de la misma comunidad como codominantes con otros árboles como *Pinus*, *Abies*, *Arbutus*, *Buddleja*, *Cercocarpus*, *Cupressus*, *Fraxinus*, *Garrya*, *Juglans*, *Juniperus*, *Platanus*, *Populus*, *Pseudotsuga* y *Salix*, entre otros (Rzedowski, 1988). Por lo que es necesario hacer una descripción de la comunidad en base a las categorías fisonómicas-estructurales y florísticas.

Las variables como: frecuencia, densidad, cobertura, área basal, entre otras, constituyen estimaciones que describen el comportamiento, el rendimiento, la abundancia o la dominancia de las categorías vegetales en la comunidad (Matteucci y Colma, 1982).

Principio de individualidad

El principio de individualidad de las especies, establece que cada especie se distribuye conforme a sus características genéticas, fisiológicas y poblacionales y a su manera de relacionarse con los factores ambientales, incluyendo en ellos a las otras especies; en otra palabras, cada especie tiene un intervalo de tolerancia propio con respecto a la competencia interespecífica, como consecuencia afectando en su distribución (Matteucci y Colma, 1982).

ANTECEDENTES

Estudios realizados sobre dendrocronología en México

En México se han realizado pocos estudios dendrocronológicos; las primeras cronologías de anillos de árboles, se produjeron en el período de 1940-1950. Schulman en 1944 examinó de manera particular una variedad de especies y muestras arqueológicas de *Cupressus*, *Taxodium mucronatum* y *Abies religiosa*, distribuidas en el centro del país, aunque sólo fue capaz de desarrollarse una cronología corta de un rodal de *A. religiosa*, localizada al sur de la Ciudad de México. Poco después con fines arqueológicos, Scott en 1966 desarrolló una cronología flotante (perdida en el tiempo) de 485 años con madera de coníferas de Casas Grandes, Chihuahua (Villanueva *et al.*, 2004).

Las primeras reconstrucciones dendrocronológicas climáticas realizadas específicamente para México son estimaciones de precipitación y del Índice de Severidad de Sequía de Palmer para el área fronteriza del norte de Sonora. La creación del primer laboratorio de dendrocronología en México, ha permitido la generación de más de 20 cronologías, distribuidas principalmente en la parte norte y centro de México (Villanueva *et al.*, 2004).

Trabajos más recientes se realizaron con *Pinus hartwegii* en los Parques Nacionales Iztaccíhuatl Popocatepetl y Zoquiapan con sus alrededores, mostrando que el crecimiento radial anual del pino está determinado por oscilaciones de precipitación y temperatura de un periodo de 2 a 3 años anteriores al crecimiento, más que por ambos parámetros del año anterior al mismo y que el crecimiento de primavera obedece al patrón de ascenso y descenso de la precipitación del año anterior a dicho crecimiento (Cruz, 2007). Otro trabajo con éste pino, en la cuenca del río Magdalena, muestra que las variaciones en el ancho de los anillos están controladas por los estímulos climáticos que ocurren durante la estación de crecimiento aunque menciona la posibilidad de que la contaminación es un factor que está influyendo más en el crecimiento de los árboles que las variables climáticas (Ferreyra, 2010).

El estudio con *Pinus patula* sobre las variaciones climáticas registradas en los anillos de crecimiento como indicadores del calentamiento global en el Parque Nacional desierto de los Leones, encontraron que para la madera temprana los datos climatológicos están directamente relacionados con la Temperatura y muy poco con la precipitación, para la madera tardía se observó una relación muy marcada en la precipitación y muy poco en la Temperatura por lo tanto el anillo de crecimiento total reacciona con las dos variables (Martínez, 2008).

Sobre el potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* y reconstrucciones de precipitaciones, concluyen que el abeto Douglas es la conífera más longeva en México, con individuos vivos de cerca de 600 años, la especie tiene el potencial dendroclimático más alto detectado en México, ya que de sus anillos de crecimiento anual se pueden generar series de tiempo dendrocronológicas de madera temprana, madera tardía y de anillo total, cada una influenciada por condiciones climáticas distintas (Villanueva *et al.*, 2008). Otro estudio sobre *Pseudotsuga menziesii*, de tres sitios en la Sierra Madre Oriental, en el estado de Nuevo León, México: El Potosí, La Marta y La Encantada, revelaron evidencia de que la amplitud de los anillos no se distribuye normalmente para las cronologías y estos tienden a sesgarse hacia menores ritmos de crecimiento radial, posiblemente como una consecuencia de cambio climático en la zona montañosa del estado de Nuevo León, México (Arreola-Ortiz *et al.*, 2010).

Estudios realizados sobre dendrocronología en otros países

Varios estudios en España, uno realizado en *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* en el monte denominado “Dehesa Espineda” en Checa (Guadalajara), constata la presencia de ejemplares de más de trescientos años en los parajes conocidos como Tejera Vieja y Solana del Rebollar (Génova y Martínez, 2001). Otro realizado en encino (*Q. robur*) distribuye en tamaño y edad a las poblaciones del roble, también correlaciona el crecimiento radial y el clima mostrando que existe una respuesta climática diferencial dependiente de la edad de los árboles (Rozas, 2004). Otro en la región central de la Cornisa Cantábrica analizaron las respuestas climáticas de tres cronologías del roble (*Q. robur*) donde crecimiento del roble a baja altitud estuvo limitado por la elevada

temperatura primaveral del año previo y por la sequía estival del año de crecimiento (Rozas, 2006). Otro más, analiza la variabilidad en la formación de los anillos de crecimiento en *Pinus canariensis* en las islas Canarias que debido a diferentes anomalías las series de crecimiento no pueden ser datadas con precisión (Génova y Santana, 2006). Uno último de España, en especies arbóreas de la isla Cortegada entre las que destacan los encinos *Q. robur* y *Q. pirenaica*, estudiando la influencia de la temperatura media mensual y precipitación mensual, sobre las variaciones de alta frecuencia del crecimiento radial (Lamas y Rozas, 2007).

En Bolivia, el estudio se realizó en ambientes húmedos de Puna, en la cuenca del Río San Jacinto, sobre *Polylepis pepeii*, indicando que el crecimiento de los árboles está influenciado principalmente por un solo tipo de estímulo ambiental, la temperatura del verano, debido a que los ejemplares se encontraron a los 4 100m de altura, obteniendo una cronología final de 135 años (Roig *et al.*, 2001).

En el Norte de Irlanda describen la respuesta a los diferentes parámetros climáticos de cuatro especies destacando el encino, donde algunos son sensibles a la humedad y otros a la temperatura (García-Suárez *et al.*, 2009).

Estudios realizados en el municipio de Chapa de Mota

Se han realizado estudios como la reintroducción de *Quercus candicans* en las faldas del cerro Las Ánimas dentro del parque estatal Chapa de Mota, en el cual se demostró que *Q. candicans* es tolerante a variaciones de temperatura (aire y suelo) y humedad (suelo), siendo las características ambientales edáficas las que determinaron el éxito de su reintroducción (Rubio, 2009). También se han realizado estudios de los factores edáficos en Chapa de Mota, sobre la distribución de las especies del género *Quercus*, entre esas especies se encontró que *Q. laurina* está bien distribuida en la zona de estudio de la Sierra de San Andrés pero con una baja abundancia (Paredes, 2010).

Estudios realizados sobre la madera de *Q. laurina*

En relación a la madera de *Q. laurina*, un trabajo sobre la comparación de su anatomía con la de *Q. affinis*, confirma la existencia de dos taxa bien diferenciados, ya que frecuentemente su identificación es confusa, aunque existe un grupo intermedio denominado *Q. affinis* x *Q. laurina* (Valencia y Barajas-Morales, 1995). Un estudio sobre las características anatómicas de la madera de 3 encinos, entre los cuales destaca *Q. laurina*, analizaron la madera de varios individuos de diferente localidad, encontrando diferencias significativas entre individuos de la misma especie (De la Paz Pérez y Quintanar, 2001). Con respecto al maquinado de la madera de *Q. laurina*, un trabajo presentó excelentes características en las operaciones de torneado, taladrado, moldurado y lijado por lo que es apropiada para ser utilizada por la industria maderera en la elaboración de productos terminados con un mayor valor agregado como molduras, lambrines, parquet y muebles (Flores-Velázquez *et al.*, 2002). Estudios realizados en Oaxaca, uno sobre la anatomía de la madera de ocho especies de encinos, entre las cuales se encuentra *Q. laurina*, presentó junto con otras dos especies de encino rojo los radios multiseriados más cortos y angostos; también presentó pocas tílides y entre los encinos rojos fue el único con taninos (De la Paz Pérez *et al.*, 2006).

Estudios realizados sobre los anillos de crecimiento

Con referencia a los anillos de crecimiento, estudios en España sobre la identificación de los anillos anuales de crecimiento en *Q. ilex*, proponen el método de utilizar un taladro Pressler de 12 mm de diámetro, haciendo de manera fiable el estudio, mostrando una diferencia entre el número de años y el número de anillos identificados de 2 o 3 años máximo (Gené *et al.*, 1993), otro sobre la fenología de los anillos de crecimiento de *Pinus uncinata* y *P. sylvestris*, en un gradiente altitudinal de cuatro bosques en los Pirineos Centrales, demostró que el bosque de mayor altitud se retrasó con respecto a los demás bosques, afectando al inicio del incremento en anchura del anillo, en el número de traqueidas maduras formadas y en la producción de traqueidas de la

madera tardía, confirmando la importancia de la temperatura al comienzo del verano como activador del crecimiento del anillo y como controlador del período de formación de la madera tardía (Camarero *et al.*, 1996).

Un estudio en Argentina, analizó la variabilidad de los anillos de crecimiento de *Prosopis ruscifolia*, concluyendo que el espesor de los anillos disminuye con la edad después de los 7 años, que hay un gradiente descendente de espesor de base al ápice, igualmente decrece según la orientación N, S, E y O y que hay una interacción entre edad y altura (Giménez *et al.*, 2005).

Debido a la importancia de las investigaciones dendrocronológicas con amplia aplicabilidad en el fechado y reconstrucción de eventos, aprovechamiento sustentable de rodales y en la conservación de ecosistemas, y a que existen muy pocos trabajos en México, sobretodo de los cambios que sufren los bosques a consecuencia de eventos climáticos como: la precipitación y temperatura; y en especial en angiospermas como *Quercus laurina*, especie endémica de México, con una amplia distribución en el país, nos abocamos a realizar el estudio dendrocronológico de esta especie con en el establecimiento de los siguientes objetivos.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar si existe una relación entre el crecimiento radial de *Q. laurina* con las variables climáticas de precipitación y temperatura.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Describir la estructura diamétrica y vertical de la población de *Quercus laurina*.
2. Encontrar un procedimiento adecuado sobre la preparación de series de crecimiento de encinos.
3. Identificar los anillos de crecimiento y determinar la edad de los árboles de *Q. laurina*.
4. Relacionar las series de crecimiento individuales, de clase diamétrica y serie maestra, con la precipitación y temperatura.
5. Caracterizar el sitio de estudio en lo edáfico y florístico (estrato arbóreo y arbustivo).

ÁREA DE ESTUDIO

Chapa de Mota

La fisiografía de Chapa de Mota está conformada por diversas montañas que forman dos cadenas de cordilleras las que dan paso a un prolongado valle permitiendo así una alta captación pluvial. Los recursos forestales son la mayor riqueza del municipio que cuenta con 13,592.8 ha de bosque, las cuales representan el 46.9% de su territorio (Fuente: <http://www.e-local.gob.mx>).

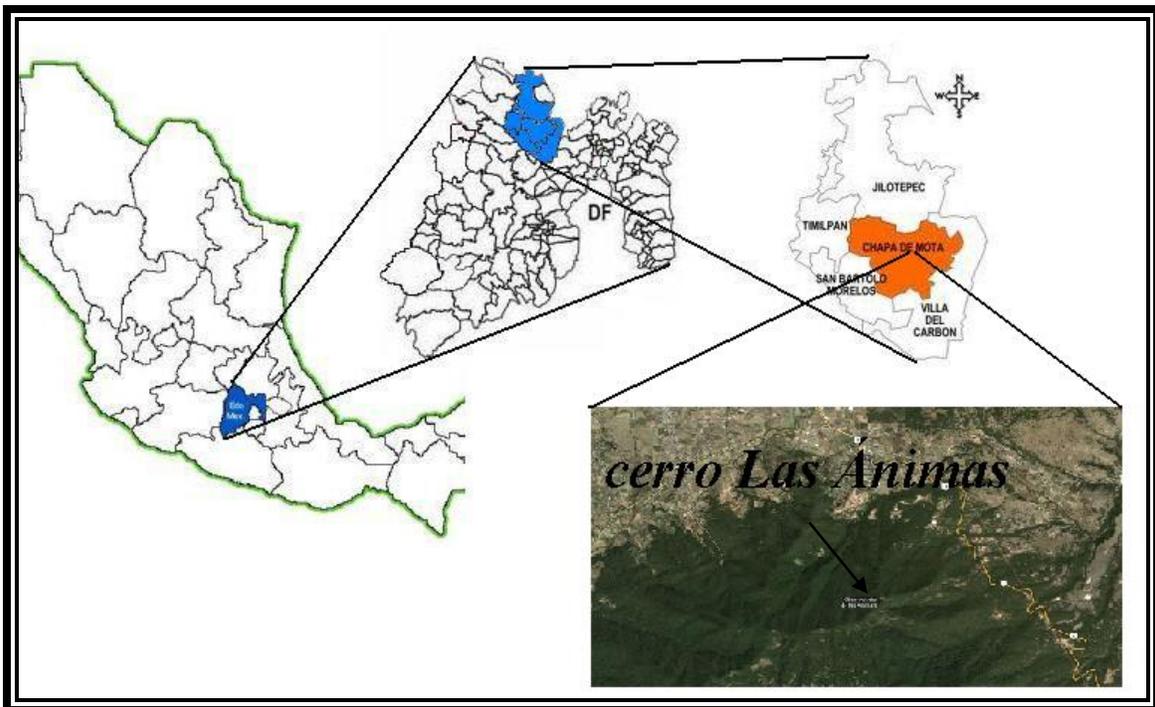


Figura 2. El área de estudio se encuentra en Chapa de Mota en el cerro Las Ánimas.

Cerro Las Ánimas

Fisiografía y Topografía

El área de estudio se encuentra en las faldas del cerro Las Ánimas en el que se encuentra el Observatorio Astronómico actualmente fuera de servicio, El rango altitudinal de esta formación va de los 2 300 a 3 100 msnm (Rubio, 2009), se encuentra en lomerío

de tobas que pertenece a la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac que a su vez pertenece a la Provincia Eje Neovolcánico (INEGI, 2003).

Geología (INEGI, 2003)

Las rocas que constituyen al cerro Las Ánimas son andesitas, que son por lo general de textura merocrystalina porfídica con fenocristales de plagioclasa y de ferromagnesianos. En superficie fresca son de color gris con tonos claros, oscuros y rosas. Su origen proviene del Periodo Neógeno, de la Era del Cenozoico.

Suelos (INEGI, 2003)

La descripción de la clave edafológica es To+Th+Hh/2 que corresponde a: suelo dominante Andosol Ócrico + suelos secundarios Andosol Húmico y Feozem Háplico con una clase de Textura Media.

Andosoles

Suelos derivados de la intemperización de cenizas volcánicas, son muy ligeros (densidad de masa menor de 0.85), con una alta capacidad de retención de agua y fijación de fósforo, debido al alofano (mineral amorfo). Tienen una fuerte tendencia a la acidez, presentan una estratificación con un horizonte A y puede haber o no un horizonte B cámbico.

Andosol ócrico.- Presenta un horizonte A ócrico de color claro, pobre en materia orgánica, espesor delgado y contenido de nutrientes generalmente bajo debido a la poca acumulación de materia orgánica en la superficie. Otras de sus características distintivas son la consistencia untuosa y la textura de migajón limoso o más fino que ésta. Además, puede tener un horizonte B cámbico.

Andosol húmico.- Tiene un horizonte A úmbico rico en materia orgánica, pero ácido y pobre en nutrientes (saturación de bases menor de 50%). Encima de este horizonte generalmente se encuentra una capa orgánica, compuesta básicamente por hojarasca en descomposición de pinos y encinos. El contenido de materia orgánica es alta en casi todo el perfil, pero disminuye considerablemente en el horizonte B cámbico, el cual se distingue por su color más claro, y su contenido de materia orgánica

apreciablemente menor que en el horizonte A. Presenta una textura de migajón arenoso muy fino o más fina que ésta y la alta porosidad es otra de sus características.

Feozems

Se caracterizan por presentar un horizonte A mólico, suave, rico en materia orgánica (más de 1%) y saturación de bases mayor de 50%, por lo tanto el contenido de nutrientes (calcio, magnesio y potasio) es elevado. La formación de estos suelos es generada en gran medida por el intemperismo de las rocas de origen ígneo extrusivo que son abundantes en la zona.

Feozem háplico.- Tiene un horizonte A mólico, con una reacción nula al fluoruro de sodio (NaF) y al ácido clorhídrico (HCl) diluido, y puede presentar un horizonte C o B cámbico. Este subtipo de Feozem es el más fértil al uso agrícola y el más abundante.

Hidrología (INEGI, 2003)

Pertenece a la Subcuenca El Salto, que a su vez se integra a la Cuenca del Río Moctezuma que comprende el 35.45% de la superficie estatal y éste pertenece a la Región Hidrológica Pánuco (RH 26), siendo una de las regiones hidrológicas más importantes de la República Mexicana que se ubica al centro-noreste.

Clima

La clasificación climática según Köppen (1948) modificado por E. García (1988), es C(w₂)(w) Clima Templado Subhúmedo con lluvia en Verano del subtipo de mayor humedad, su precipitación invernal, es decir, la ocurrida en los meses de enero, febrero y marzo, corresponde a menos de 5% de la lluvia total anual. Es el clima más importante de la entidad, de ésta ocupa 46.7%. La precipitación del mes más seco es menor a 40 mm. En terrenos con altitud de 1 800 a 2 700 m, la precipitación total anual es mayor de 700 mm y la temperatura media anual varía de 12° a 18°C (INEGI, 2003).

La precipitación promedio anual registrada en la zona (1971-2000) es de 824 mm y la temperatura media anual es de 15.23 °C. A lo largo del año la diferencia entre la temperatura máxima y mínima es de +15 °C. En la zona se han registrado temperaturas

diarias mínimas de hasta -10 °C en los meses de Enero y Febrero y temperaturas máximas de hasta 37 °C en Abril y Octubre (Rubio, 2009). La estación meteorológica más cercana a la localidad es: Chapa de Mota (estación 15196) a 2 600 m s.n.m.

Vegetación

La vegetación corresponde a un Bosque de Encino (*Quercus*) o bosque templado mediano de durifolios (González, 2004). En los bosques del sitio se han observado 7 especies de encino: *Q. candicans*, *Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. crassipes*, *Q. laurina*, *Q. mexicana* y *Q. obtusata* que conviven con árboles del género *Pinus*, *Arbutus*, *Garrya*, *Prunus* y *Cupressus* (Rubio, 2009).

En la cartografía de Posibilidades de Uso Forestal, los criterios y niveles de aptitud sobre la condición de la vegetación actual es Alta, por lo que el terreno es apto para uso Forestal Industrial, aunque actualmente la Extracción de Productos Forestales es Baja (INEGI, 2003).

METODOLOGÍA

Trabajo de Campo

Establecimiento de Cuadros

El estudio se realizó en el cerro Las Ánimas por el camino que lleva al Observatorio, se buscaron sitios donde se distribuyera *Q. laurina*, seleccionando adecuadamente aquellas áreas donde predominara dicha especie, encontrándose en la ladera en intervalo altitudinal de 2,820 a 2,870 msnm. Ahí se establecieron 3 cuadros de muestreo de 10 x 20 m (200 m²), a cada cuadro se le ubico a favor de la pendiente y se georreferenció, registrando orientación y altitud (Fig. 3).

Toma de datos y descripción

Para la descripción de la estructura diamétrica y vertical de *Q. laurina*, a cada árbol dentro de los 3 cuadros establecidos se le tomaron datos de diámetro a la altura del pecho “DAP” 1.30 m (Villavicencio, 2009), altura y cobertura de la copa.

Para la caracterización edáfica se tomaron 2 muestras de suelo a diferente profundidad, la primera muestra corresponde a los primeros 8 cm debido al cambio notorio de color del suelo y la segunda muestra de 9 a 18 cm de profundidad y para la caracterización florística se realizó el levantamiento florístico de los estratos: arbóreo y arbustivo, todo dentro de los tres cuadros.

Para la descripción florística próxima a *Q. laurina* se realizó un levantamiento florístico arbóreo y arbustivo, dentro de los cuadros.

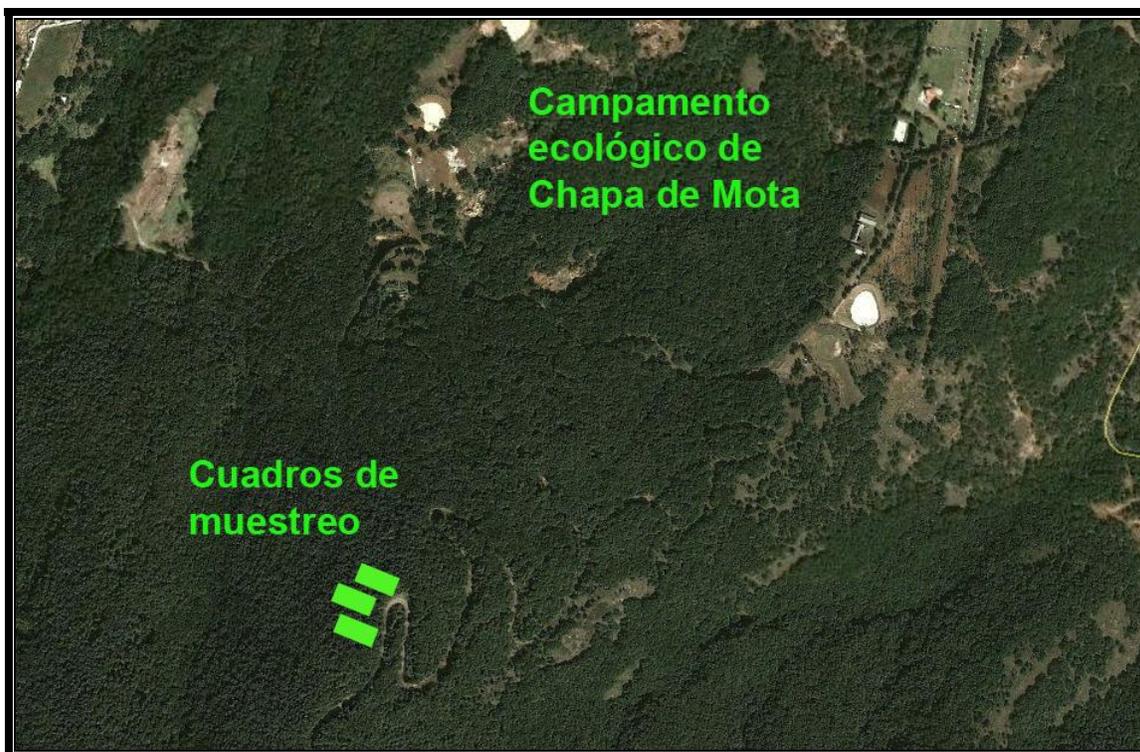


Figura 3. Establecimiento de los 3 cuadros (verde claro), en la ladera del cerro Las Ánimas.

Clasificación y extracción de series de crecimiento

Los árboles encontrados dentro de cada cuadro se clasificaron por su tamaño de diámetro (DAP); quedando establecidas tres clases: A (11 cm a 20 cm), B (21 cm a 30 cm) y C (>30 cm), no se tomaron en cuenta para una extracción los árboles con diámetro menor a 10 cm.

La extracción se realizó a 16 encinos, cuatro árboles pertenecieron a la clase A, cuatro a la clase C y ocho a la clase B por ser el diámetro más abundante en los cuadros, con el taladro Pressler de 5 mm de diámetro se extrajo una serie de crecimiento (viruta) por individuo.

La extracción consistió en seleccionar una parte sana y sólida a la altura de 1.30 m (DAP), introduciendo la barrena en ángulo recto (90°) perpendicular al tronco (Fig. 4), con orientación en favor de la pendiente, girando el mango en el sentido de las manecillas del

reloj (Grissino, 2003), los orificios dejados por la barrena fueron sellados con cera de campeche para evitar la entrada de hongos e insectos.

Las virutas de 5mm diámetro y longitud variable, se depositaron en estuches metálicos para su transporte y resguardo (Fig. 5), se etiquetaron con los siguientes datos: fecha, número de muestra, número de cuadro, número del árbol, clase y número de compartimiento.



Figuras 4 y 5. Extracción de la viruta por medio de taladro Pressler y su resguardo en estuches metálicos.

Trabajo de Laboratorio

Preparación, conteo, medición y estandarización de series de crecimiento

Las virutas fueron secadas a temperatura ambiente por aproximadamente tres días, una vez secas, se montaron una a una las series de crecimiento, en un bastidor metálico (aluminio) elaborado en el T.E.L.E. (Taller de Equipo para Laboratorio de Enseñanza) de la FES Iztacala, de 20 cm de longitud, con un canal de 5 mm de ancho y 3 mm de profundidad, se orientó la muestra exponiendo hacia arriba la cara transversal y recortándola con una navaja de acero inoxidable, dejando una superficie plana, para homogeneizar y facilitar la apreciación y medición de los anillos (Fig. 6); posteriormente para tres series de crecimiento, se pulieron con lijas de diferente grano (150, 320, 600, 1200 y 2000), lijando del más grueso (150) al más fino (2000) y soplando aire comprimido

sobre las caras recortadas para destapar el lumen de los vasos, este proceso de preparación no se continuó en las demás series de crecimiento, ya que el soplado no destapa el lumen de los vasos a pesar de usar aire comprimido.

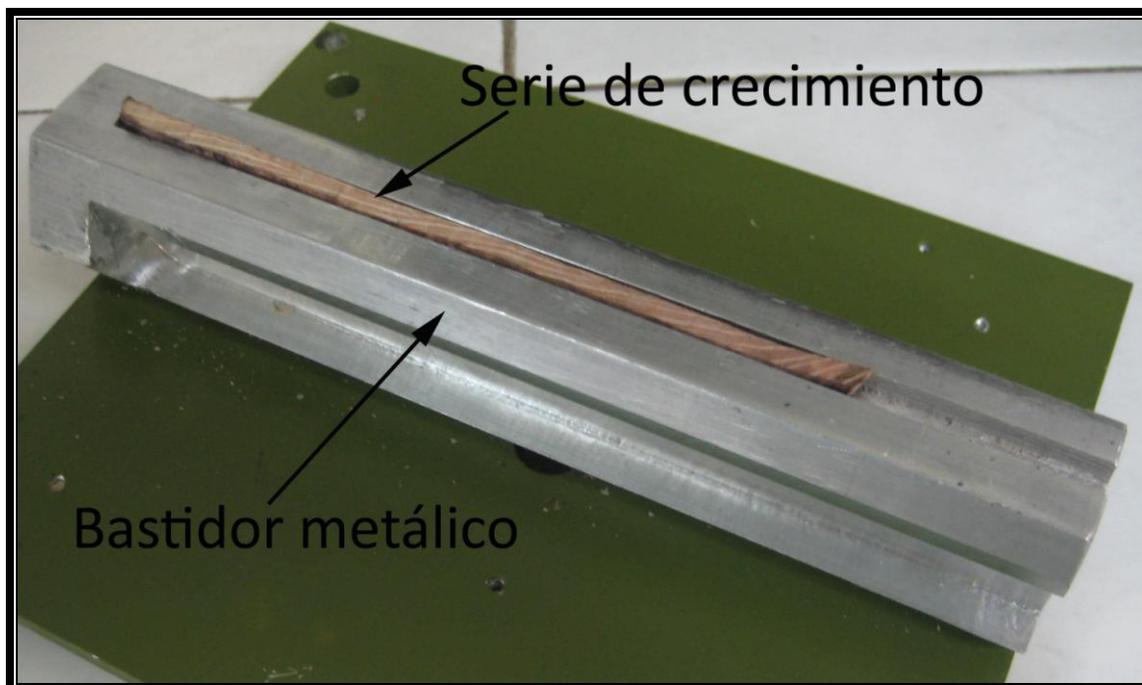


Figura 6. Bastidor metálico, para el recorte de las series de crecimiento.

Para conocer la edad de las series de crecimiento se recurrió al conteo de los anillos, los cuales se reconocieron por medio de una serie de patrones que siguen los vasos, con ayuda de un microscopio estereoscópico LEICA S6D. También se marcó con un punto cada 10 anillos (década) en las virutas (Villanueva *et al.*, 2004), con el fin de facilitar el conteo de los anillos al microscopio.

La edad total del árbol se estimó con la siguiente ecuación:

$$Eta = \langle (Ni + Nf + Na) \rangle$$

Donde: *Eta* es la edad total del árbol (años), *Ni* el número total de anillos en la sección de crecimiento o viruta obtenida con el taladro de Pressler, *Nf* el número de anillos en la sección faltante (extrapolación y método Applequist), *Na* el número de años que requiere el árbol para alcanzar la altura de muestreo (Villanueva, 2006). Para este estudio el valor de *Nf* se estimó basándose en la experiencia obtenida y por comparaciones con las series de crecimiento completas (viruta con total de anillos del centro del árbol).

La medición de los anillos de crecimiento (Fig. 7) se realizó con el sistema de cámara digital LEICA EC3, tomando fotos de todos los anillos y midiendo con el Software Leica Application Suite EZ, Versión 2.0.0 con una precisión de 0.01 mm.

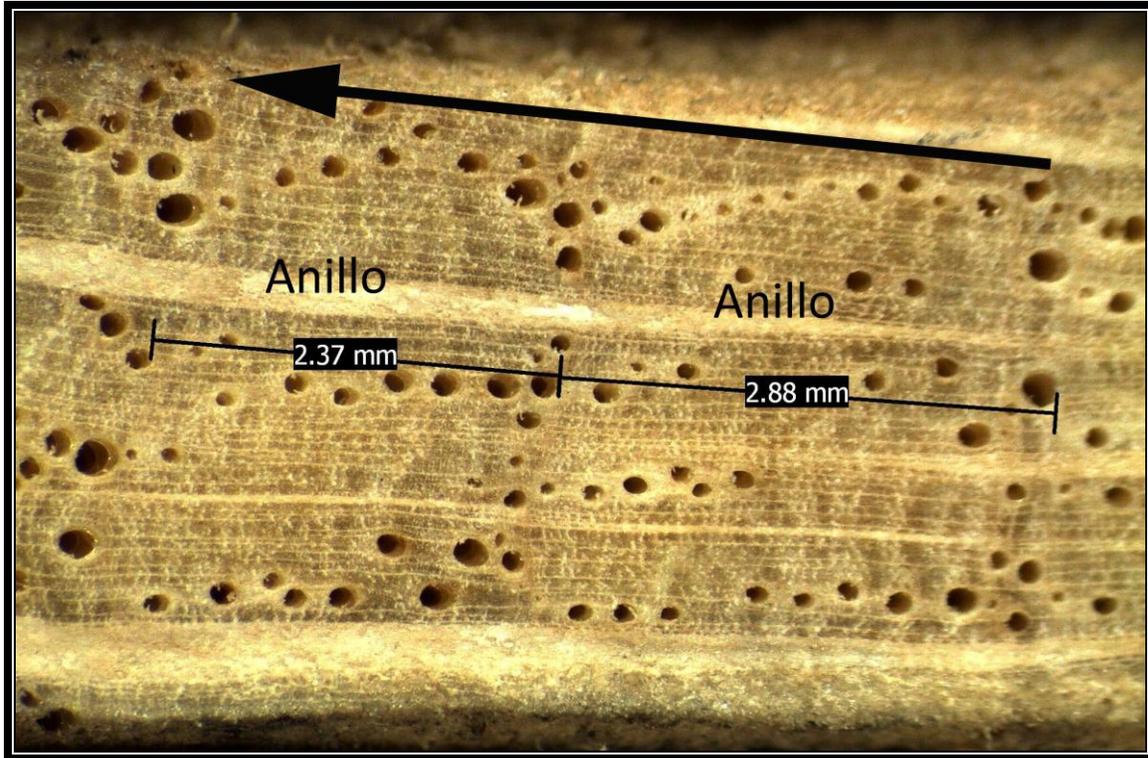


Figura 7. Medición de los anillos de crecimiento de *Q. laurina*

El proceso de estandarización para cada serie de crecimiento se realizó con una Curva de Regresión Lineal, dividiendo el valor puntual sobre la línea entre el ancho del anillo, se generó una serie de índices normalizados, eliminando las tendencias biológicas, geométricas y maximizando la señal climática (Villanueva *et al.*, 2010), para la obtención de una cronología por clase de diámetro, se promediaron los índices de cada clase y también una cronología maestra, promediando todos los índices normalizados.

Obtención de datos de precipitación y temperatura

Para obtener los datos exactos de la zona de estudio se necesitaron los datos de las variables climáticas de precipitación (lluvia total mensual) y temperatura (temperatura media mensual) de las 29 estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio

(Acambay, Presa el Tigre, Presa la Concepción, Presa Francisco Trinidad, Represa el Alemán, San Andrés Timilpan, San Lorenzo Malacota, Santiago Yeche, Santo Tomás, Villa del Carbón, Atlacomulco, San Marcos Tlazalpan, San Miguel Jagüey, El Islote, Presa Huapango, Presa Taxhimay, Chapa de Mota, Pozo Cuatro, Jilotepec, San Antonio Trojes, Atlacomulco II, Santiago Acutzilapan, La Almendra, San José Epifanía, Colonia Hidalgo, El Palmito, Rio Los Sabios, San Antonio Nixini y Pozo Ocho); los datos fueron obtenidos en las Instalaciones del Servicio Meteorológico Nacional, posteriormente con el programa ArcView, se realizó una interpolación de los datos empleando la información de las 29 estaciones o sólo de aquellas que tuvieran datos del año a interpolar, el periodo fue de 1967 a 2010. Por último se ubicó el área de estudio y se obtuvo la lluvia total mensual y temperatura media mensual del sitio.

Análisis de datos

Para analizar el efecto de la precipitación y temperatura sobre el crecimiento radial, se realizó un análisis de correlación de Pearson y Diagramas de Dispersión entre los índices de crecimiento individual, por clase y con la cronología maestra, con los datos de lluvia total mensual y temperatura media mensual calculada a partir de la extrapolación con los datos de las 29 estaciones meteorológicas más cercanas.

Caracterización edáfica y florística

Para la caracterización edáfica, se llevó a cabo un análisis físico (Color, Textura, Densidad Aparente, Densidad Real, Estructura y Consistencia) y químico (Materia Orgánica, pH, Capacidad de Intercambio Catiónico Total y porcentaje de Calcio y Magnesio Intercambiables) de las dos muestras del suelo colectadas (Muñoz, 2010).

Para la descripción florística, se identificaron los ejemplares colectados por medio de las claves bibliográficas de Rzedowski y Rzedowski (2005).

RESULTADOS

Distribución diamétrica de *Quercus laurina* en el bosque de encino

El total de árboles de *Q. laurina* en los 3 cuadros fue de 64; la población de *Q. laurina* presenta una estructura diamétrica semejante a la conocida como “J invertida”, donde el mayor número de individuos se concentra en las categorías diamétricas de 11–20 cm y 21–30 cm, representando el 80% de los árboles, y el valor modal es 17 m que se encuentra en la categoría diamétrica de 11–20 cm, la categoría con mayor número de individuos es de 20–30 cm, con 26 árboles (Fig. 8).

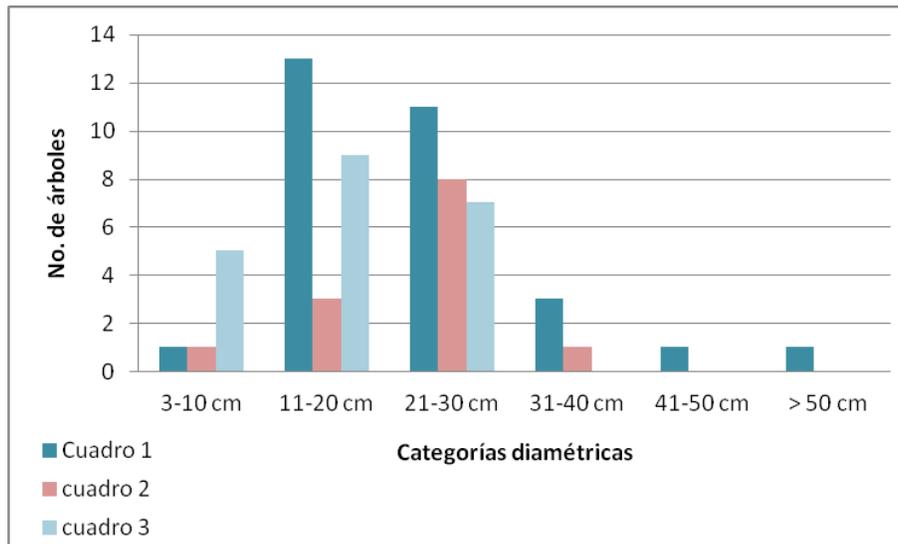


Figura 8. Distribución por categoría diamétrica de *Q. laurina* en bosque de encino en Chapa de Mota.

El cuadro que presentó mayor número de individuos fue el No. 1 con 30 árboles, también fue el único que presentó todas las categorías diamétricas e igualmente fue el que presentó los árboles con mayor diámetro (49 y 54 cm), seguido del cuadro No. 3 con 21 árboles pero sin presentar árboles mayores a los 30 cm y por último el cuadro No. 2 con 13 árboles.

Estructura vertical de *Quercus laurina* en el bosque de encino

La estructura vertical se definió en función de la altura de los árboles de *Q. laurina*, desde la altura mínima de 2 m hasta la máxima de 24 m. Los estratos se establecieron en intervalos de altura de acuerdo a los cambios más notorios observados en el histograma, ya que los árboles presentan una tendencia al agrupamiento.

De acuerdo con este criterio de estratificación se definieron tres estratos arbóreos en los distintos cuadros (Fig. 9), el estrato I de 2 a 8 m, éste estrato es notorio en el histograma por su separación con el estrato II, ya que no se encontraron árboles con altura de 8 y 10 m; el estrato II de 10 a 18 m y por último el estrato III que comprende árboles de 18 a 24 m.

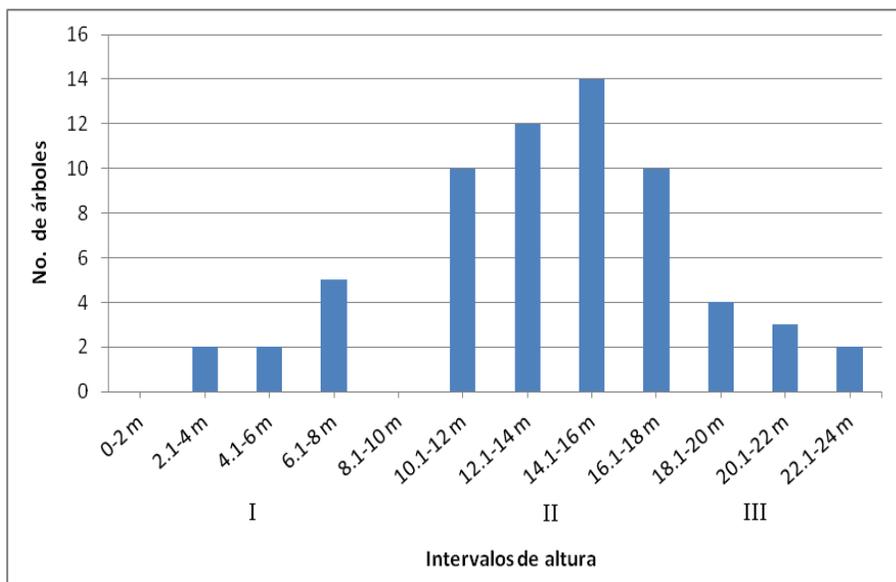


Figura 9. Distribución vertical de *Q. laurina* en bosque de encino en Chapa de Mota.

Los estratos I y III fueron los de menos individuos, todos los árboles del estrato I pertenecen a las categorías diamétricas menores de 20 cm; el mayor número de árboles se concentra en el estrato II que coincide con el mayor número de árboles en las categorías diamétricas de 10–20 cm y 21–30 cm

Distribución horizontal de *Quercus laurina* en el bosque de encino

La estructura horizontal se definió en función a la cobertura de los árboles de *Q. laurina*, desde la cobertura mínima de 1.4 m hasta la máxima de 9 m (Fig. 10).

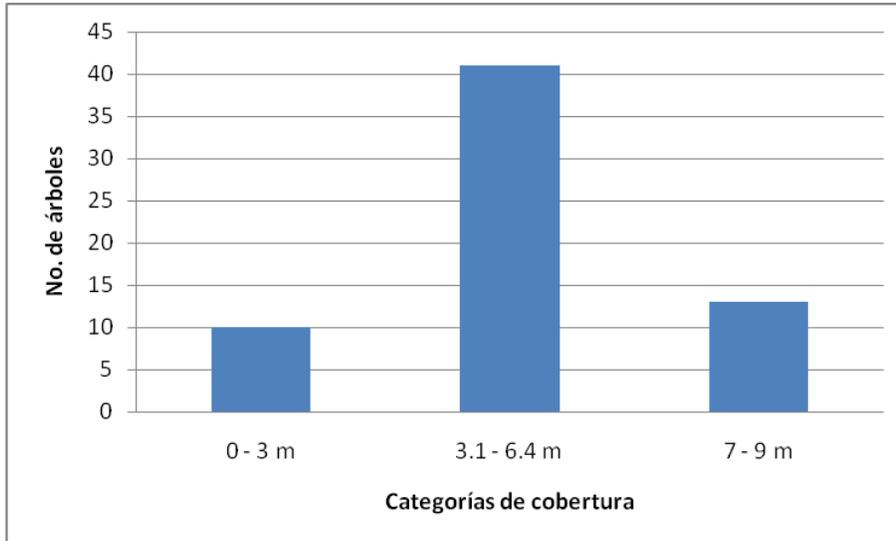


Figura 10. Distribución horizontal de *Q. laurina* en bosque de encino en Chapa de Mota.

La mayor parte de los árboles presento una cobertura en la categoría de 3.1–6.4 m, los árboles con mayor cobertura en la categoría de 7–9 m, pertenecen a las categorías diamétricas mayores de los 20 cm.

Correlación entre diámetro, altura y cobertura

Se observó una correlación positiva entre las variables de diámetro, altura y cobertura de los árboles de *Q. laurina* (Fig. 11).

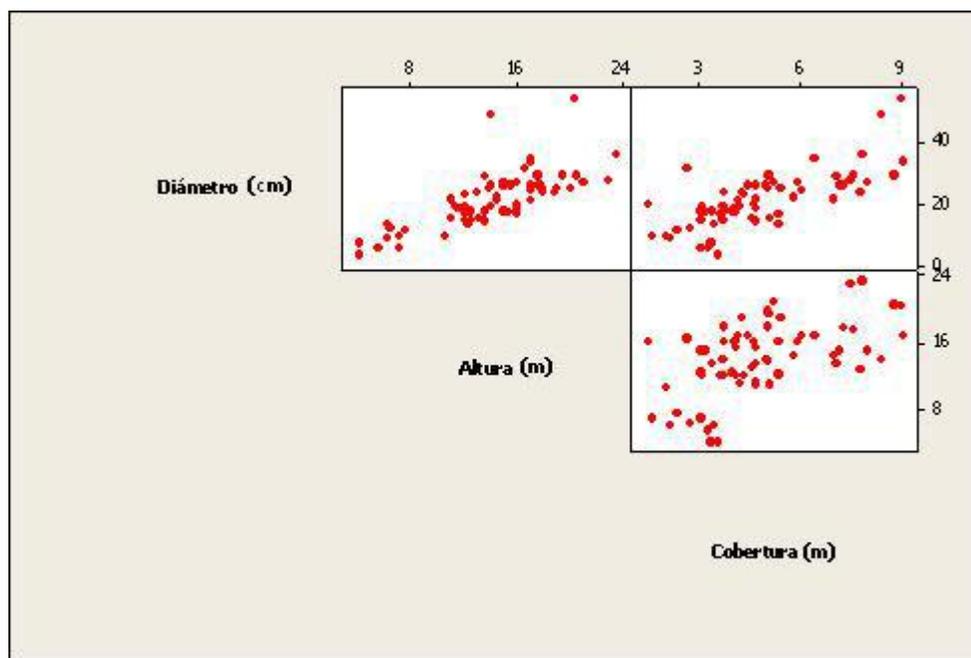


Figura 11. Diagrama de dispersión que muestra la correlación entre diámetro, altura y cobertura de *Q. laurina*.

Los valores en la correlación de Pearson para las variables diámetro y altura fueron: $r=0.729$ y $P=0.00$

Con un valor de $P < 0.05$ la correlación es significativa, se observa que hay una relación entre el diámetro y altura, esperando que a mayor diámetro haya una mayor altura del árbol.

La correlación entre diámetro y cobertura también fue alta y positiva y con valor de: $r=0.740$ y $P=0.00$

Con un valor de $P < 0.05$ la correlación es significativa, igualmente se espera que a mayor diámetro mayor cobertura, la mayoría de los árboles con diámetro mayor de 30 cm presentó las coberturas mayores.

La correlación entre altura y cobertura fue moderada y positiva, con valor de: $r=0.563$ y $P=0.00$

Con un valor de $P < 0.05$ la correlación también es significativa, igualmente se espera que a mayor altura mayor cobertura, la mayoría de los árboles con mayor altura presentaron las coberturas mayores.

En los diagramas de caja (Fig. 12), los asteriscos representan a los árboles que salen del patrón normal (atípico), representando éstos a los casos especiales como los dos árboles con mayor diámetro (54 y 49 cm), y otros dos árboles con la altura más pequeña de 4 m.

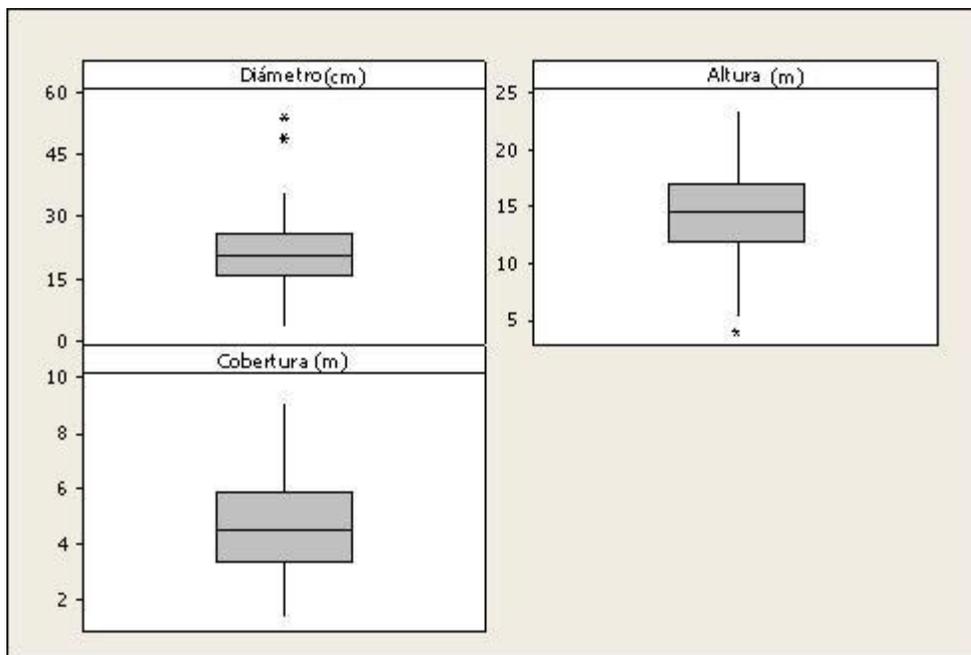
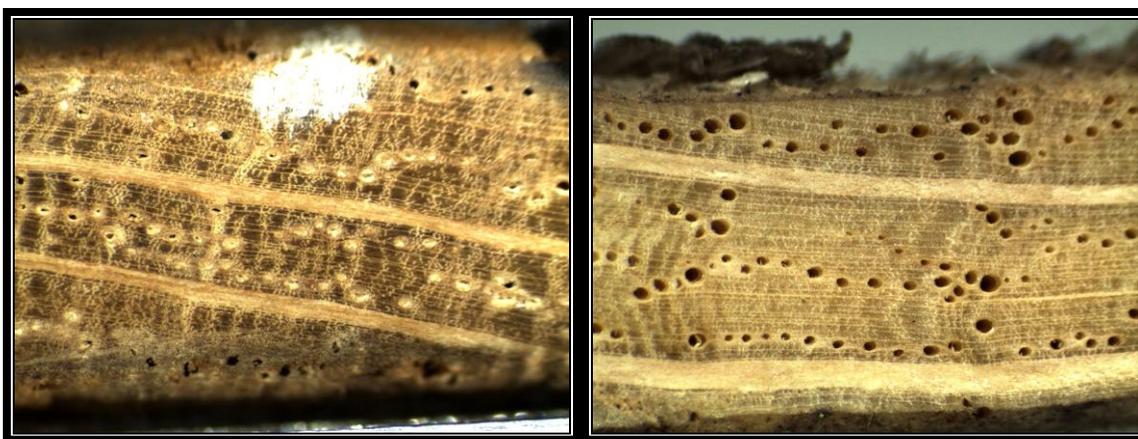


Figura 12. Diagramas de caja del diámetro, altura y cobertura de los encinos de *Q. laurina*, mostrando la distribución de los datos.

El Coeficiente de Variación para el diámetro fue 42.63%, para la cobertura 39.71% y para la altura de 31.40% siendo el menor; el 50% de los árboles está representado por el 2^{do} y 3^{er} cuartil, el intervalo entre éstos dos cuartiles para el diámetro son de 16 m a 26 m, para la cobertura 3 m a 6m y para la altura 12 m a 17 m, la mediana para el diámetro fue 20.63 cm, para la altura es 14.5 m y para la cobertura 4.565 m. La distribución de los datos por medio de los diagramas de caja en el diámetro y altura son simétricos mientras que la distribución en la cobertura no es simétrica ya que la mediana no se encuentra en el centro de rectángulo.

Procedimiento sobre la preparación de series de crecimiento

La preparación de las series de crecimiento utilizando el bastidor metálico permitió homogeneizar los cortes transversales sobre las virutas; el pulido y soplado de las caras recortadas en las virutas, deja una cara lustrosa (Fig. 13) permitiendo observar mejor la distribución del parénquima axial, pero tiene el inconveniente de tapar el lumen de los vasos, mientras que en las virutas, que solo fueron recortadas (Fig. 14), dejan al descubierto el lumen de los vasos fácilmente apreciables, pero en una menor distinción de las bandas de parénquima axial, pero aun observable en la identificación de los anillos.



Figuras 13 y 14. La imagen de la izquierda corresponde a una serie de crecimiento recortada, pulida y soplada con aire comprimido dejando una cara lustrosa, la otra imagen (derecha) corresponde a una serie de crecimiento recortada sin pulir.

Identificación de los anillos de crecimiento de *Q. laurina* y su grosor

Los patrones que se distinguieron y se siguieron para la identificación de los anillos de crecimiento siempre y cuando fue posible reconocerlos, fueron los siguientes y se observan en la figura 15.

- Al comienzo de un anillo hay un número mayor de vasos, cuyo diámetro es más grande, también hay un bandeo de tonos contrastantes entre el parénquima axial y las fibras.
- Al final de un anillo decrece el número de los vasos como su diámetro y la distribución del parénquima axial es difuso.

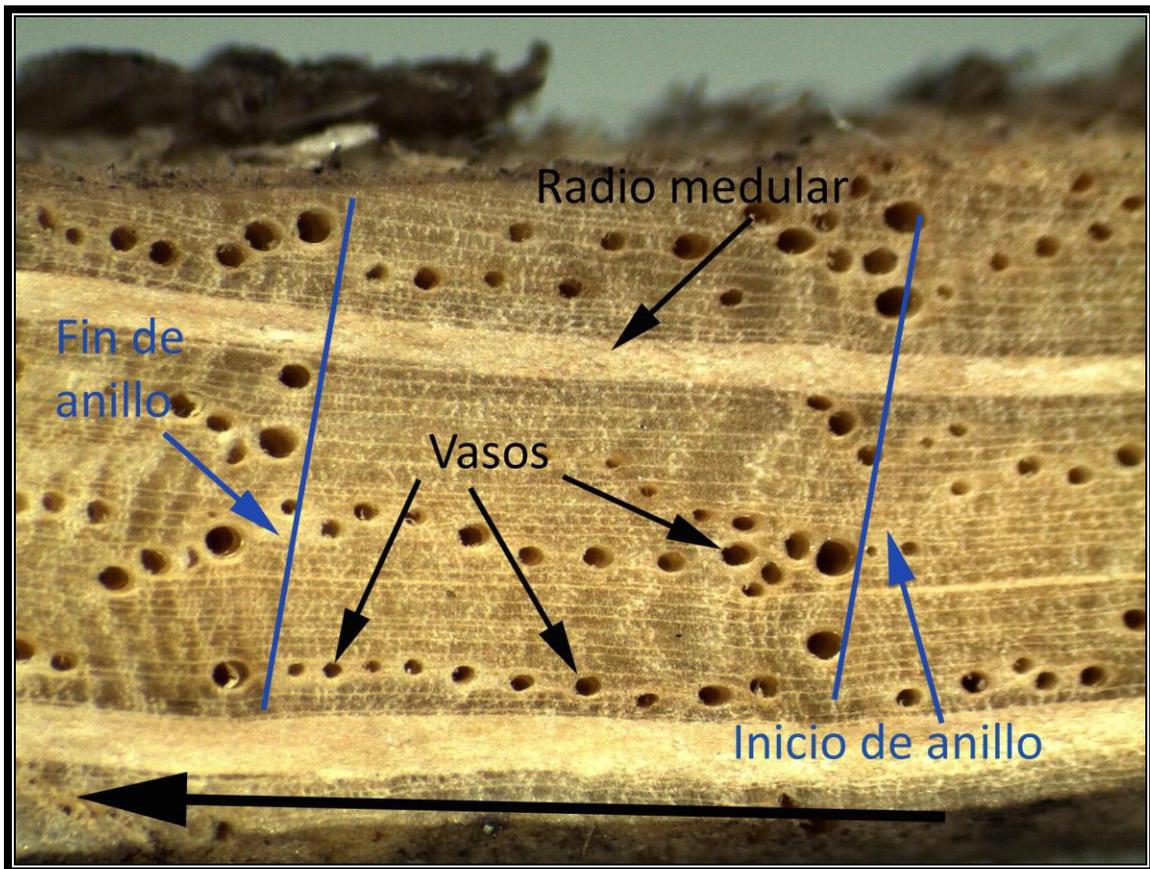


Figura 15. Identificación de un anillo de crecimiento.

El contraste del diámetro de los últimos vasos con los primeros del año siguiente, es lo que delimita a un anillo de crecimiento anual.

El registro del No. de anillos en las virutas comprende un periodo de 44 años (1967 a 2010). El grosor de los anillos oscila entre 1.7 a 3.4 mm (Fig. 16); entre lo más destacado se puede observar que durante el intervalo de 1988-1997 el crecimiento en grosor de los anillos se mantuvo constante oscilando en los 2.5 a 3 mm. El crecimiento en 1998 fue el menor con 1.78 mm, año que presentó la mayor precipitación registrada con 196.6mm, seguido por el del año 2005 con 1.9 mm, donde la precipitación fue menor compara con los dos años anteriores y posteriores.

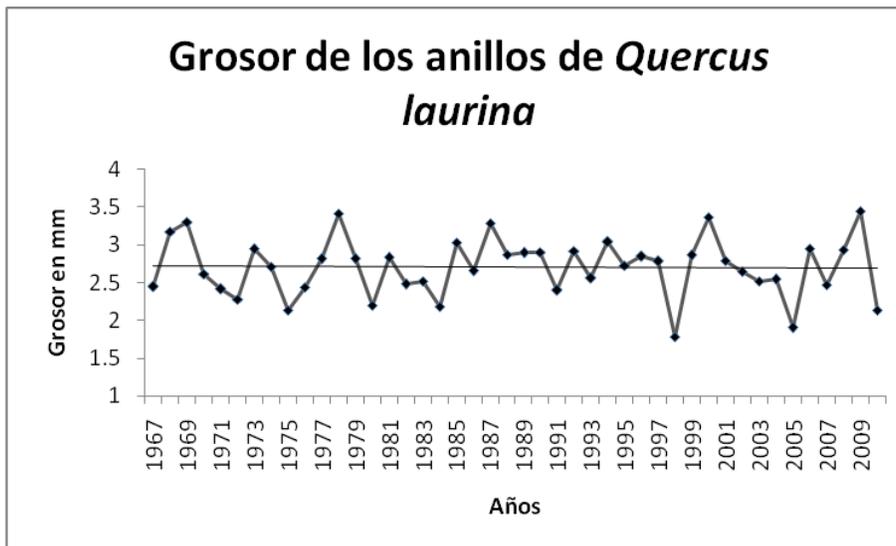


Figura 16. Crecimiento en grosor (mm) de los anillos de *Q. laurina* durante el periodo de 1967 a 2010.

La línea de tendencia no muestra ninguna pendiente que indique la disminución en el grosor de los anillos en los últimos años, lo que significa, que el límite radial de crecimiento del árbol no está próximo, de lo contrario la línea tendería al decremento en grosor de anillos; el encino de mayor edad, es de 45 años y no muestra un decremento en su crecimiento radial.

El crecimiento en grosor de los anillos para cada clase diamétrica (A, B y C) durante el periodo de 1984 a 2010 (Fig. 17), muestran similitud en los años de 1998, 2005 y 2010, con valores bajos, también se aprecia que el grosor de los anillos de la clase C con valores de 2.3 a 4.6 mm, son mayores que los valores de las clases B (1.7 a 3.6 mm) y éste a su vez tiene valores por encima de la clase A (1.3 a 3 mm).

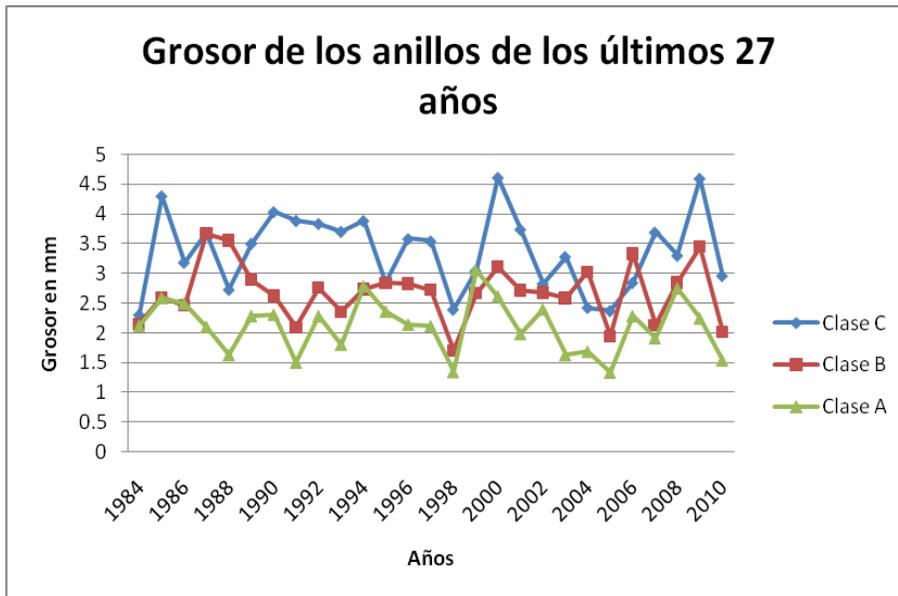


Figura 17. Crecimiento en grosor de los anillos de crecimiento por clase diamétrica (A, B y C) de *Q. laurina* durante el periodo de 1984–2010.

Edad de las series de crecimiento y de los árboles de *Quercus laurina*

Se determinó la edad para las 16 series de crecimiento de *Q. laurina*. (Figs. 18 y 19). La serie de crecimiento con mayor número de anillos y por ende de mayor edad fue el árbol número 3 perteneciente a la clase C de mayor diámetro con 45 años, al igual que las otras 3 virutas pertenecientes a la clase C, mostraron tener una edad de por lo menos 40 años en adelante. Las virutas de la clase B con una edad de 29 a 40 años; y la clase A mostró tener una edad de 27 a 35 años.



Figura 18. Las 16 series de crecimiento de los árboles de *Q. laurina*

Para el cálculo de la edad estimada total de los árboles, es necesario realizar una suma en base al número de anillos contenida en las series de crecimiento más los faltantes en la serie de crecimiento (anillos del centro del árbol), más la adición de los años que requiere el árbol para alcanzar la altura de muestreo, sección del fuste de donde se obtuvo la viruta (Villanueva, 2006).

Se adicionó a las series de crecimiento un tiempo promedio de 5 años, en base al crecimiento observado de los encinos del vivero de FES IZTACALA; edad estimada para qué los brinzales de *Q. laurina* lleguen a la altura 1.30 m. También se sumaron los anillos faltantes en las series de crecimiento que no contenían los anillos del centro del tronco.

Serie de crecimiento	No. anillos	Edad (años)	Serie de crecimiento	No. anillos	Edad (años)
1 C	40	46	9 B	31	39
2 B	40	45	10 B	30	35
3 C	45	53	11 A	27	32
4 B	31	38	12 A	32	39
5 C	40	45	13 B	40	46
6 B	40	45	14 B	44	49
7 A	28	33	15 A	35	40
8 C	42	48	16 B	29	37

Figura 19. Número de anillos de las 16 series de crecimiento de *Q. laurina*, y edad calculada.

El árbol de mayor edad es el 3C con 53 años y el de menor edad es el 11A con 32 años, la mayor diferencia en edad entre los árboles muestreados, es de 21 años. Los árboles de la clase C tienen una edad de entre los 45 a 53 años, los de la clase B de 35 a 46 siendo la clase que mostró mayor amplitud en el intervalo, y finalmente los de la clase A con una edad de entre los 32 a 40 años.

Los resultados obtenidos muestran una tendencia a que los árboles de mayor diámetro correspondan a los de mayor edad, del mismo modo los árboles más jóvenes corresponden a los de menor diámetro.

Registro de los datos de precipitación y temperatura

El registro de los datos de precipitación y temperatura durante el periodo de 1967 a 2010, se observan oscilaciones en ambas variables, encontrando periodos anómalos de comportamiento en los últimos años; en la precipitación, un aumento notable por encima de los 100 mm para el periodo de 2003-2010, de igual forma en la temperatura, un aumento por arriba de los 18°C para el periodo de 2006-2010.

Correlación entre las 16 series de crecimiento con la precipitación y temperatura

Con los 16 índices normalizados de las series de crecimiento, se realizó un análisis de correlación de Pearson y Diagrama de dispersión (Figs. 20 y 21) con la precipitación y temperatura para cada índice.

Los valores de r y P correlacionados con la precipitación son:

índice 1C	$r=0.476$	$P=0.002$	índice 9B	$r=0.509$	$P=0.004$
índice 2B	$r=0.181$	$P=0.264$	índice 10B	$r=-0.002$	$P=0.991$
índice 3C	$r=0.106$	$P=0.495$	índice 11A	$r=0.068$	$P=0.734$
índice 4B	$r=0.270$	$P=0.149$	índice 12A	$r=0.365$	$P=0.043$
índice 5C	$r=0.296$	$P=0.064$	índice 13B	$r=0.194$	$P=0.231$
índice 6B	$r=0.317$	$P=0.046$	índice 14B	$r=0.137$	$P=0.374$
índice 7A	$r=0.153$	$P=0.447$	índice 15A	$r=0.277$	$P=0.107$
índice 8C	$r=0.238$	$P=0.129$	índice 16B	$r=0.362$	$P=0.058$

Destacando 4 índices (en rojo), los cuales mostraron una correlación baja o moderada con la precipitación con valor de r de 0.3 a 0.5 y significativa al tener un valor de $P < 0.05$.

La correlación con la temperatura, mostró correlaciones bajas y muy bajas, pero no significativas. El valor de r más alto fue de 0.337 y el valor de P más bajo fue de 0.086, por lo que no se le puede considerar significativa por el valor de $P > 0.05$. Por lo que en el crecimiento de ninguno de los árboles mostró una sensibilidad a la temperatura, que pudiera registrarse en el grosor de los anillos.

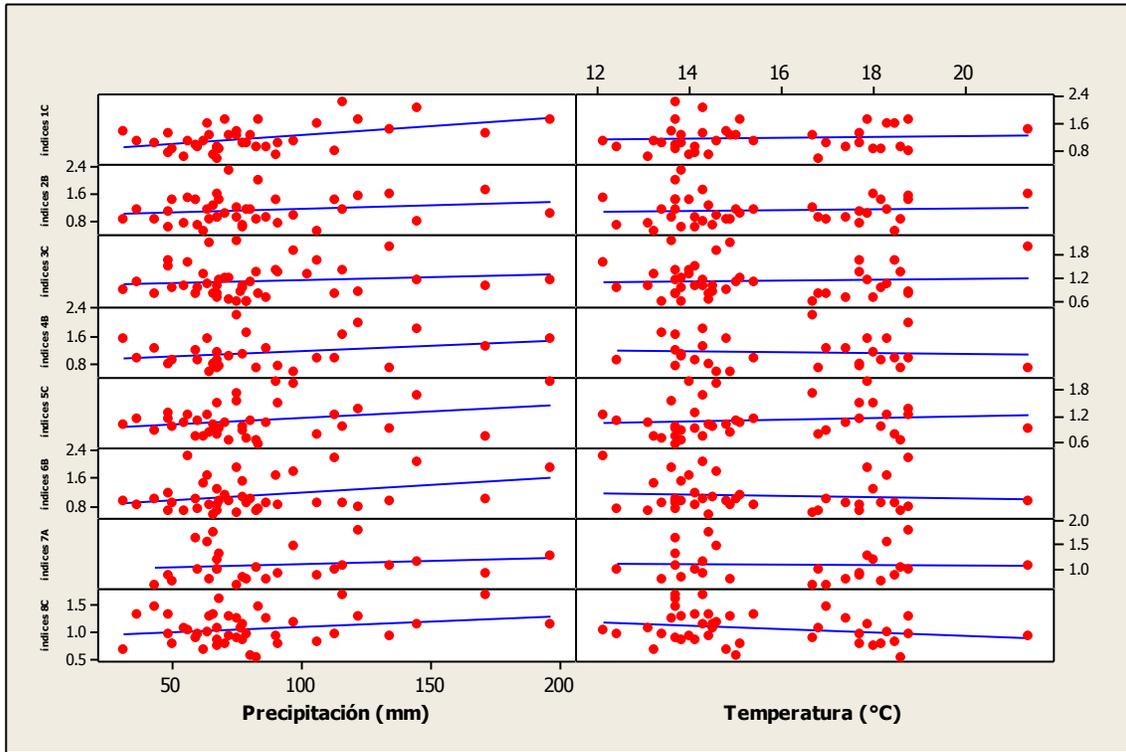


Figura 20. Diagrama de dispersión de los primeros 8 índices de crecimiento con respecto a la precipitación (izquierda) y temperatura (derecha).

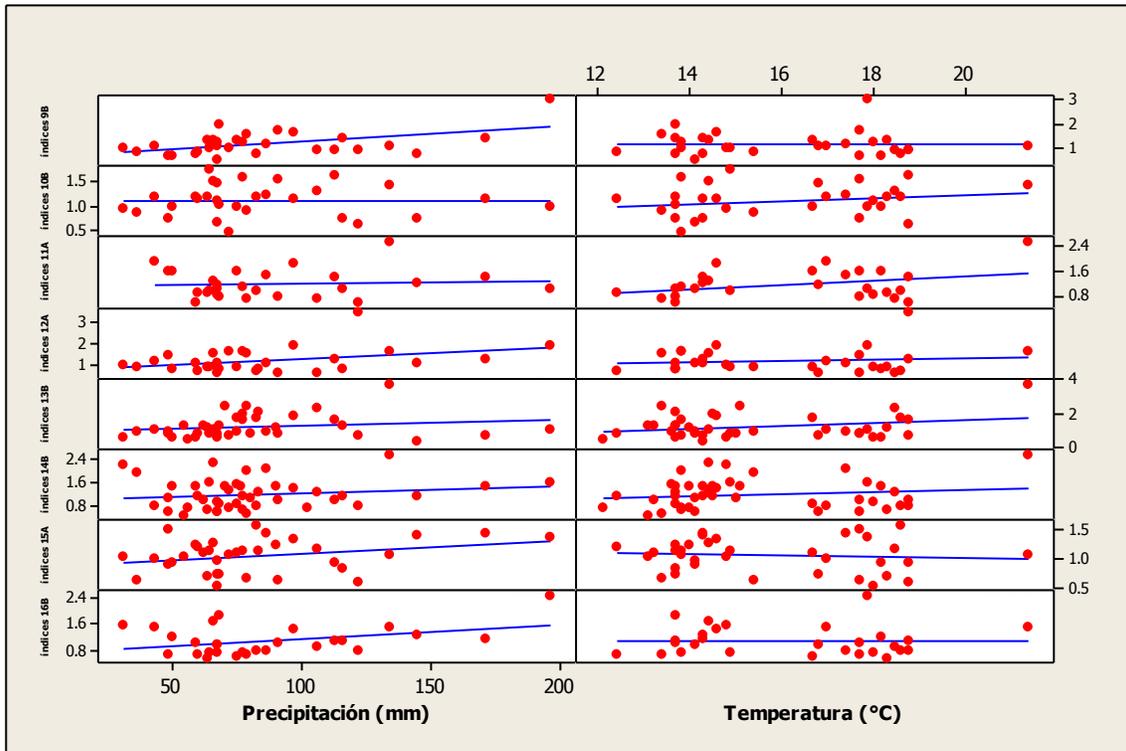


Figura 21. Diagrama de dispersión de los últimos 8 índices de crecimiento con respecto a la precipitación (izquierda) y temperatura (derecha).

Las 4 series de crecimiento que mostraron una mayor sensibilidad a la variable del clima de precipitación, se seleccionaron para realizar una nueva cronología entre ellas. La cronología mostro correlación moderada (Fig. 22).

El valor de $R=0.57$ fue el más alto en todas las correlaciones y significativo con un valor de $P < 0.05$, mostrando una clara relación y sensibilidad al registrar los cambios de precipitación en la madera.

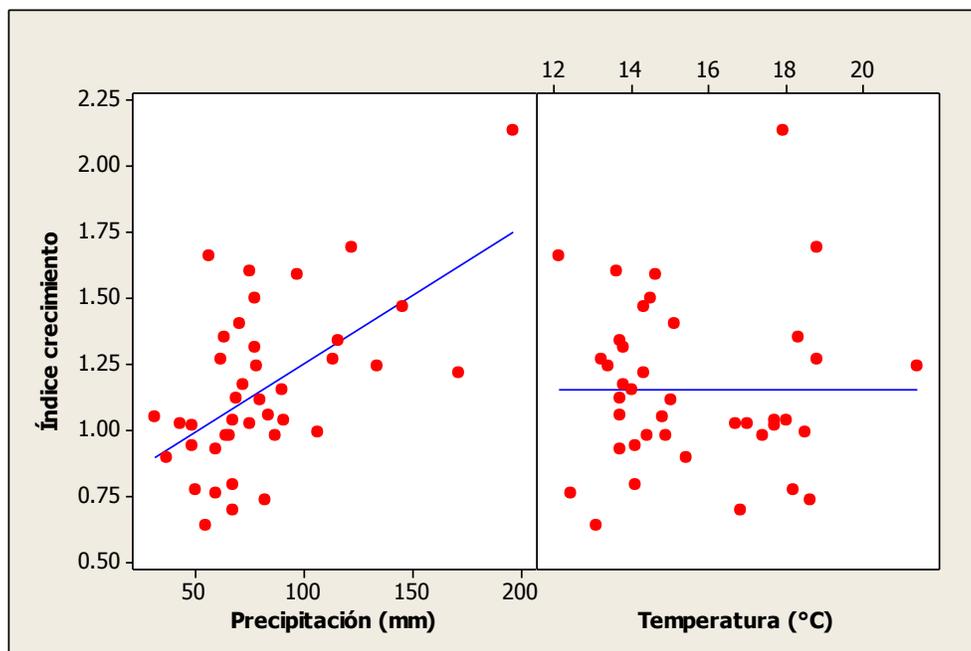


Figura 22. Diagrama de dispersión de los índices seleccionados con respecto a la precipitación (izquierda) y temperatura (derecha).

Correlación entre clases de diámetro con precipitación y temperatura

Las correlaciones entre las clases de diámetro A y C con la precipitación son moderadas, la correlación de la clase B con la precipitación es baja, pero todas son positivas y sus valores son significativos (Fig. 23). La clase C fue la que mostró la mayor relación con la precipitación, siendo la más significativa.

Clase A	$r=0.419$	$P=0.012$
Clase B	$r=0.369$	$P=0.014$
Clase C	$r=0.450$	$P=0.002$

Las correlaciones entre el crecimiento radial de las clases diamétricas y la temperatura, no mostraron tener una relación, con valores de correlación baja y muy baja que no son significativas.

Clase A	$r=0.183$	$P=0.292$
Clase B	$r=0.048$	$P=0.758$
Clase C	$r=0.064$	$P=0.681$

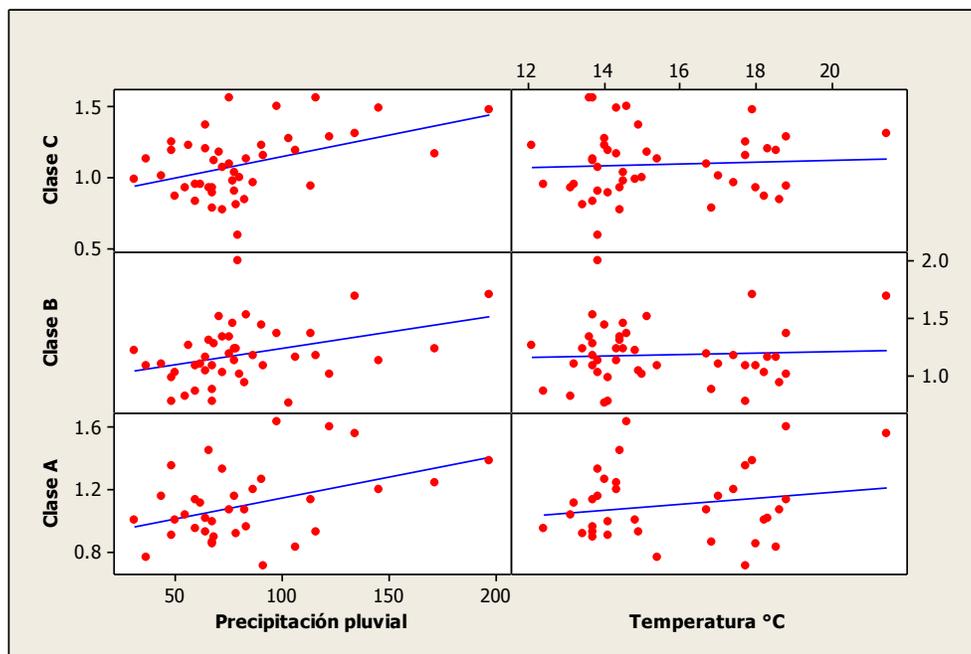


Figura 23. Diagramas de dispersión entre las clases de diámetro A, B y C con la precipitación y temperatura.

Correlación de la serie maestra con la precipitación y temperatura

La serie maestra muestra una correlación moderada, es decir una relación directa con la precipitación:

Serie maestra	$r=0.55$	$P=0.000$
---------------	----------	-----------

Como el valor de P es cercano a cero la hace significativa con la precipitación. Se puede apreciar la línea de tendencia diagonal claramente ascendente (Fig. 24).

Mientras que con la temperatura el valor de $r=0.095$ es cercano a cero y un valor de $P > 0.05$ que no es significativo, nuevamente la temperatura no muestra relación significativa con el crecimiento radial.

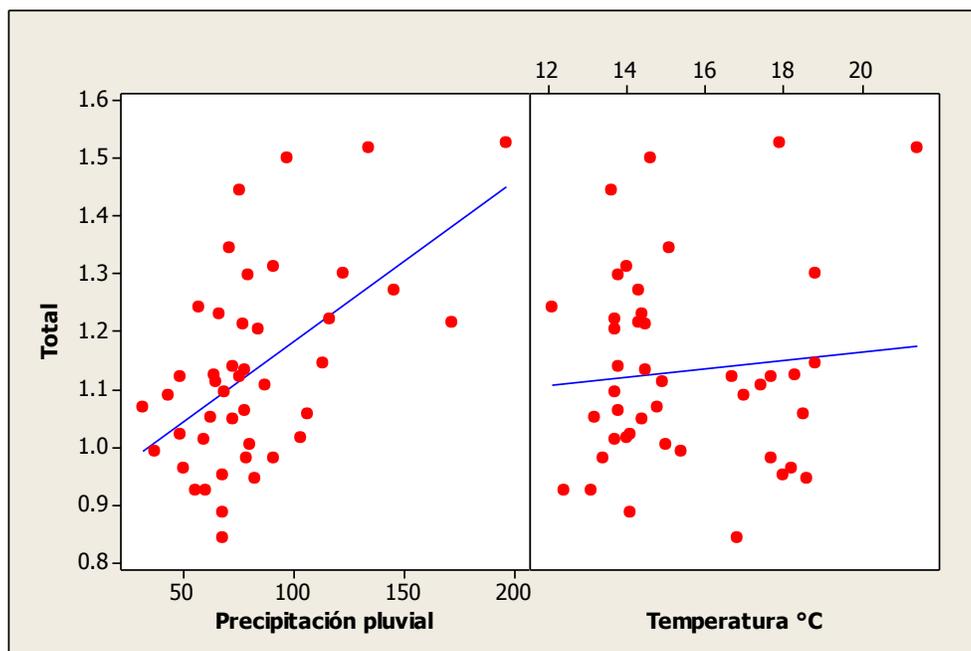


Figura 24. Diagrama de dispersión de la serie maestra con respecto a la precipitación (mm) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

No se encontró relación entre el crecimiento radial y la temperatura.

Caracterización edáfica

Se muestra los parámetros de las pruebas físicas y químicas (Apéndice II), realizadas sobre las dos muestras de suelo a diferente profundidad. Las pruebas físicas son: Color, Textura, Densidad Aparente, Densidad Real, Porosidad, Consistencia y Estructura; y las pruebas químicas realizadas son: Materia Orgánica, pH, Capacidad de Intercambio Catiónico Total (C.I.C.T.), Porcentaje de Calcio intercambiable y Porcentaje de Magnesio intercambiable.

Las dos muestras de suelo se ajustan a la descripción y características del tipo de suelo dominante andosol húmico. Rico en Materia Orgánica que influye directamente sobre las propiedades del suelo, dándole el color pardo, un pH ácido, bajando la densidad aparente y a su vez aumentando la porosidad, proporcionándole una buena estructura para la retención de agua.

La muestra de suelo con la profundidad de los primeros 8 cm representa el horizonte A y la muestra de suelo desde los 9 cm a los 18 cm de profundidad representa parte del horizonte B formado por la acumulación del horizonte A.

Caracterización florística

Los árboles y arbustos identificados que comparten el medio dentro de los 3 cuadros son:

Nombre científico	Estrato
Ericaceae	
<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Arbustivo
Fagaceae	
<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	Arbóreo
<i>Quercus laurina</i> Humb. & Bonpl.	Arbóreo
<i>Quercus obtusata</i> Humb. & Bonpl.	Arbóreo
Rosaceae	
<i>Crataegus mexicana</i> D.C.	Arbóreo
<i>Prunus serotina</i> ssp. <i>capulli</i> (Cav.) Mc Vaugt	Arbóreo
<i>Garrya longifolia</i> Rose	Arbustivo

DISCUSIÓN

La ubicación de los cuadros, no se considera determinante para las diferencias que existen entre ellos en el número de árboles, tamaños y edades, ya que se seleccionó una zona donde predominara *Q. laurina*, presentando los 3 cuadros las mismas condiciones como la pendiente, altitud y orientación.

El diagrama de caja para el diámetro, muestra una simetría en la distribución de los datos considerando los valores de 49 cm y 54 cm como atípicos, pero si se consideraran más árboles para el estudio, lo cual no se realizó debido a que aumenta la zona de muestreo aumentando las series de crecimiento que implican un daño al árbol, habría más valores cercanos a 50 cm, demostrando una distribución no simétrica, que se puede apreciar en la estructura del histograma conocida como “J invertida”, concentrándose el mayor número de los individuos en las categorías inferiores a 30 cm. La distribución de datos en el diagrama de caja de la cobertura no es simétrica, por lo que sería conveniente subdividir las categorías en el histograma para observar la medida de las coberturas más frecuente de los árboles de *Q. laurina* en el bosque de encino. Las correlaciones entre diámetro–altura, diámetro–cobertura y altura–cobertura son directas y significativas, por ende si una variable aumenta también aumentara la otra, esperando encontrar, que los individuos de mayores dimensiones posean diámetros grandes al igual que coberturas y alturas sobresalientes.

En la preparación de las series de crecimiento, el uso de un bastidor metálico facilita y homogeneiza todos los cortes transversales de las muestras, ya que el bastidor metálico limita y guía el corte de la navaja sobre la viruta, además de reducir el uso de molduras de madera, como lo utilizan en la mayoría de los estudios citados, por lo que el uso de bastidor metálico sería un proceso nuevo y en ensayo; el pulido de las virutas por medio de lijas, permite una mejor apreciación en la distribución del parénquima en bandas, pero tapa el lumen de los vasos, esenciales para la identificación de los anillos, a pesar de utilizar el soplado con aire comprimido, que sólo logro destapar algunos vasos, por lo que se recomienda solo realizar el corte con la navaja, dejando al descubierto el lumen de los vasos.

La identificación de los anillos de crecimiento en las virutas de *Q. laurina* por medio del bandeo de la madera temprana y tardía, no puede ser apreciada con microscopio estereoscópico o a simple vista, como ocurre en la mayoría de las maderas de conífera, donde el bandeo de la madera tardía suele ser de un color más oscuro que el de la madera temprana, permitiendo la identificación y conteo, Aguilar y colaboradores (2000) describen los anillos de crecimiento de *Q. laurina* como inconspicuos; por lo que es necesario recurrir a otros métodos, como lo menciona Gené y colaboradores (1993), en aquellos casos en que la identificación por medio de las bandas de la madera temprana y tardía resulta difícil o imposible, se recurre al análisis del patrón que sigue los vasos; la madera de tipo semiporoso, en la que los vasos se distribuyen a lo largo de todo el anillo y decrecen en diámetro desde el inicio hasta el final del periodo de crecimiento; como es el caso de la madera de *Q. laurina*, el contraste del diámetro de los últimos vasos con los primeros del año siguiente, fue el principal patrón determinante para delimitar a un anillo de crecimiento anual, seguida del bandeo claro del parénquima axial contrastante con el color de las fibras.

La madera de los encinos se caracteriza por la gran cantidad de radios medulares, Ferrés (1984; citado en Gené *et al*, 1993) menciona que cuando se trabaja con testigos (virutas) de madera de tamaño estándar (5 mm de diámetro), la presencia de un gran número de radios medulares uniseriados (formados por una sola hilera de células) y pluriseriados (muy gruesos y constituido por varias hileras de células) dificulta considerablemente el reconocimiento de los patrones en la identificación de los anillos de crecimiento; ya que disminuye el área de apreciación de las bandas de parénquima y del cambio evidente en el diámetro de los vasos, por eso Gené y colaboradores (1993) consideran, que el uso de virutas de 12 mm es adecuado para un estudio preciso de aspectos ecológicos y silvícolas de los encinares, disminuyendo la influencia de los radios medulares, pero el esfuerzo que requiere la extracción de estas virutas es considerablemente mayor, y los efectos perjudiciales que puede producir su extracción en los árboles pueden llegar a ser importantes, al menos en los individuos de diámetros pequeños; considerándose inadecuado el uso de virutas de 12 mm en este estudio, por el muestreo que se realizó a individuos jóvenes.

Coincidiendo con Ferreyra (2010) la determinación de los anillos de crecimiento se dificulta a medida que aumenta la edad de los individuos; pero aun así es posible realizar estudios dendrocronológicos utilizando el taladro Pressler sin la necesidad de obtener secciones transversales (rodajas) como lo recomiendan algunos autores en las latifoliadas, implicando la muerte del individuo que en la mayoría de los casos no es posible, sin mencionar el daño ecológico a la zona de estudio.

Existe la creencia generalizada de que los árboles viejos son aquellos individuos vigorosos, de dimensiones colosales que se ubican en suelos profundos, fértiles y con una provisión adecuada de humedad; esta creencia es normalmente errónea y más bien el hábitat de estos individuos es muy distinto, es decir, suelos someros, escarpados, de escasa fertilidad y dependientes del agua que se almacena exclusivamente en el perfil del suelo antes o durante la estación de crecimiento (Villanueva, 2006).

Esto podría explicar por qué algunos árboles de *Q. laurina*, con diámetros menores tienen un número elevado de años, como es el caso del árbol 14B que tiene una edad de 49 años similar a los árboles de la clase C, a pesar de que su diámetro (24.2 cm) no es sobresaliente; igualmente hay árboles que contienen un bajo número de años pero con diámetros mayores, como es el caso del árbol 10B con un diámetro de 26.1 cm pero que tiene 35 años similar a los árboles de la clase A; a pesar de ello se observó una tendencia en la que los encinos con mayor número de anillos presentaron las mayores dimensiones en diámetro, altura y cobertura.

El menor grosor registrado en los anillos de crecimiento fue en 1998, presentando la mayor precipitación registrada con 196.6 mm, pero un año anterior (1997) se registró un valor muy bajo de 43.5 mm, siendo escasa la precipitación en ese año, se considero que esas condiciones climáticas anteriores tuvieron un efecto sobre el año siguiente en curso. La diferencia en el grosor de los anillos en las diferentes clases de diámetro pudiera deberse a la competencia intraespecífica que existe entre los encinos por el espacio, los árboles de la clase C con mayor edad en algún momento tuvieron menor competencia por el espacio, lo que pudiera resultar en un crecimiento radial mayor a los árboles de la clase B y A, quienes crecieron compitiendo por el espacio con los árboles ya existentes de la clase C, resultando en un crecimiento radial menor. Por lo que los árboles de la clase A,

presentan el menor grosor, debido a que presentaron mayor competencia por el espacio con los árboles ya existentes de la clase B y C.

Q. laurina es un árbol de regiones templadas que forma un anillo anualmente, sin embargo en determinados casos pueden llegar a formar más anillos, Villavicencio y colaboradores (2009) mencionan que existen estímulos interestivales o fenómenos externos como un período corto de días fríos y secos en temporada de lluvias o bien lluvias abundantes extraordinariamente presentadas dentro de la estación de invierno produciendo anillos falsos. Zhang (1987; citado en Gené et al, 1993) describe un falso anillo como una banda bien marcada de color más oscuro en el interior de un anillo, el cual se identifica a partir de los cambios en el tamaño de los vasos conductores, y relaciona la aparición de falsos anillos con la caída de una importante cantidad de precipitación después de la estación seca: la aparición de falsos anillos suele producirse los años en los que las precipitaciones de junio y julio son débiles, y las de agosto y septiembre (o septiembre únicamente) son intensas. No se encontraron falsos anillos con la anterior descripción, aunque hay que mencionar que no es necesario que los falsos anillos coincidan con la descripción, por lo que no se puede descartar su presencia. No obstante, considerando la edad de algunos encinos de 50 años, el error de uno o dos anillos falsos es pequeño.

Rozas en el 2004 distribuye la edad de una población de *Q. robur* en tres generaciones de robles: jóvenes (<50 años), maduros (150–200 años) y viejos (>250 años); como encinos presentan similitudes en su crecimiento, el cual suele ser lento, tomando en cuenta estos datos, los árboles de *Q. laurina* entran en la generación de jóvenes, ya que los árboles oscilan entre los 32 y 53 años de edad, también puede apreciarse esta juventud al observar su crecimiento radial en las virutas, ya que los anillos de crecimiento no tienden al decremento aún; Villanueva y colaboradores (2010) mencionan el efecto de la edad en el crecimiento anual, situación que propicia el desarrollo de anillos más grandes en la etapa juvenil del árbol y una disminución gradual en crecimiento a medida que el árbol se torna longevo. Por lo que el límite del crecimiento radial, en los últimos anillos más angostos, de los encinos no está próximo, característica de árboles jóvenes; se

espera que los encinos sin ninguna perturbación puedan seguir viviendo unos 200 años más.

La ausencia de árboles longevos, irremediamente nos hace pensar que es lo está pasando en la zona de estudio, sugiriendo que se encuentra en una etapa de sucesión secundaria donde predomina la presencia de individuos jóvenes, lo que puede significar un alto grado de regeneración del bosque. La ausencia podría deberse a la tala de árboles inmoderada de hace aproximadamente 50 años, ya que se sabe que para Chapa de Mota su mayor riqueza radica en los recursos forestales.

La interpolación de los datos de precipitación y temperatura de las 29 estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio, por medio del programa Arc view, permitió ubicar y conocer con mayor exactitud los datos de precipitación y temperatura de la zona de estudio, eliminando las inconsistencias encontradas en los datos de las estaciones más cercanas por separado o promedios de dos o más estaciones. La anomalía del aumento de la precipitación junto con la temperatura en los últimos años coincide con los anillos en los que se observa un aumento de los índices normalizados de las series de crecimiento, por lo que la variable climática de precipitación influyó directamente sobre crecimiento radial para el periodo de 2003-2010, para el aumento de temperatura en últimos cinco años de registro, podría también estar relacionado con el crecimiento radial pero, sería necesario realizar estudios de correlación más profundos para el periodo 2006-2010. Éstos aumentos de la precipitación y temperatura, en los últimos años, podrían deberse al cambio climático natural, que se presenta en nuestro planeta.

En la correlación entre el crecimiento radial de las 3 clases de diámetro y la temperatura, la clase C fue la que mostró una mayor relación, esto pudiera deberse a que las virutas de la clase C contienen un mayor número de anillos que las clases A y B, lo que aumenta estadísticamente los resultados, también pudiera deberse a que al ser los primeros encinos en esa zona, tenían una menor competencia intraespecífica, posiblemente por el espacio y el agua, sobretodo en los primeros anillos que las demás clases no tienen, que corresponden a los años 1967 a 1973, donde la precipitación registrada en la zona fue más constante, registrando en la madera una mayor sensibilidad a la precipitación.

La correlación del crecimiento radial de las cuatro series de crecimiento seleccionadas con la precipitación fue de 0.547 siendo el valor más alto de R, pero éste valor estadístico podría incrementarse al tener un número mayor de muestras, que indiquen una mayor sensibilidad a la precipitación, mientras que la temperatura no mostro influencia directa en el crecimiento de los anillos de crecimiento; otros trabajos encuentran que los anillos de crecimiento si muestran sensibilidad a la temperatura pero esta relación es mas clara solo en algunos meses, por lo que sería recomendable trabajar con los datos de precipitación y temperatura mensuales. Se sabe que el crecimiento radial del árbol no se debe absolutamente a una variable climática en este caso a la precipitación, existen otras variables climáticas o por actividades humanas (contaminación) que influyen sobre el crecimiento de los encinos; Ferreyra (2010) menciona que las condiciones climáticas de un determinado año tienen efecto directo sobre las características del anillo de crecimiento formado durante ese año, pero que esas mismas condiciones climáticas podrían afectar el crecimiento en años posteriores a través de la formación de yemas, azúcares, hormonas etc., lo que sugiere que los anillos de crecimiento podrían también estar influenciados por la precipitación y temperatura del año anterior al anillo.

Los resultados de todas las correlaciones sobre crecimiento radial con la precipitación mostraron una relación directa significativa, es decir, que los anillos más anchos corresponden a los años en que hubo una mayor precipitación, mientras que la correlación con la temperatura no mostró ninguna influencia, demostrando que la variable del clima que más influye sobre el crecimiento radial de los encinos es la precipitación, concordando con García-Suárez y colaboradores (2009), quienes sugieren entre varios parámetros climáticos que el encino es sensible a las lluvias de verano. Lo anterior coincide con lo reportado por Ferreyra (2010) quien concluye el factor que controla el crecimiento es el balance hídrico.

El tipo de suelo andosol húmico suele ser un suelo profundo, a pesar de encontrarse la zona de estudio en la ladera, el gran contenido de materia orgánica sobre el suelo, promueve la formación de agregados a pesar de tener una textura compuesta mayormente de arenas, estos agregados dan un balance entre los poros y el agua,

haciendo bajar la densidad aparente la cual incrementa la porosidad, esta alta porosidad permite una mayor infiltración del agua en el suelo, la cual es retenida por su potencial mátrico que es la fuerza de unión del suelo al agua (agua higroscópica) y el agua retenida por cohesión en los microporos (agua capilar), todo esto es su capacidad retentiva de humedad residual, captada de los ciclos de lluvia previos, retrasando la pérdida superficial de agua y aumentando el tiempo de su disposición, coincidiendo con Caritat y colaboradores (2000) que trabajaron con otra especie de encino, indicando la importancia de la capacidad de retención de agua del suelo, mostrando que la precipitación ejerce una gran influencia positiva en el crecimiento de los anillos.

Los árboles y arbustos encontrados en la zona de estudio coinciden con lo reportado por Rubio (2009) y lo que menciona Rzedowski (1988), donde es frecuente encontrar bosques de *Quercus* conviviendo con otros árboles. Éstas especies compiten por los recursos (agua, luz, espacio, nutrientes, etc.), afectando el crecimiento y desarrollo de los encinos, registrándose en los anillos de crecimiento del tronco. Afectando el registro de la sensibilidad del crecimiento radial a la precipitación.

La amplitud ecológica es un principio que indica que una especie arbórea será más sensitiva a factores medioambientales en su límite de distribución latitudinal y altitudinal (Villanueva *et al.*, 2004). La sensibilidad a la variable climática de precipitación, su amplia distribución en México y a que es posible encontrarlo cerca de los 3000 msnm, la hace una especie con posible potencial dendrocronológico. Ya que una especie tiene mayor potencial dendrocronológico cuando crece cerca de su límite de distribución ecológica (Villanueva *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

- Existe una relación directa entre el diámetro, altura y cobertura, de los árboles de la comunidad de *Q. laurina*, mientras aumente una variable aumentará la otra.
- El procedimiento más adecuado sobre la preparación de las series de crecimiento es un corte transversal sin utilizar el pulido, para evitar tapar el lumen de los vasos, que sirven en la identificación de los anillos.
- Es posible identificar los anillos de crecimiento en las series de crecimiento por medio del patrón de vasos y bandeo del parénquima axial.
- Los árboles de la población de *Q. laurina* en el cerro Las Ánimas son jóvenes, con edades no mayores a 60 años de edad.
- Los árboles de mayor edad, son frecuentemente los árboles con mayor diámetro.
- Se obtuvieron los datos exactos de precipitación y temperatura de los últimos 45 años del área de estudio.
- Existe una relación directa entre el crecimiento radial de los árboles de *Q. laurina* y la precipitación, siendo la precipitación la principal variable climática que influye en el crecimiento.
- Los árboles que mostraron una mayor relación entre el crecimiento radial y la precipitación, son los árboles con mayor diámetro y edad.
- No existe una relación directa entre el crecimiento radial de los árboles de *Q. laurina* y la temperatura.
- Es posible realizar estudios dendrocronológicos en *Q. laurina*.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, S., J. Barajas-Morales, J.D. Tejero-Díez. 2000. Anatomía de Maderas de México: Especies de un Bosque Mesófilo de Montaña. Instituto de Biología, UNAM. D.F., Publicaciones Especiales 17: 33-34.
- Arreola-Ortiz, M.R., M. González-Elizondo y J.J. Návar-Cháidez. 2010. Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México. *Madera y Bosques* 16(1): 71-84.
- Camarero, J.J., J. Guerrero-Campo y E. Gutiérrez. 1996. Fenología del Anillo de Crecimiento de *Pinus uncinata* Ramond y *Pinus sylvestris* L. en un Gradiente Altitudinal en los Pirineos Centrales. *Pirineos* 147-148: 3-26.
- Caritat, A., E. Gutiérrez y M. Molinas. 2000. Influence of weather on cork-ring width. *Tree Physiology*. Heron Publishing-Victoria, Canada. 20: 893-900
- Chacalo, A. y V. Corona. 2009. Árboles y Arbustos: Para Ciudades. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 599 pp.
- Constante, V., J. Villanueva, J. Cerano y J. Estrada. 2009. Medición y calidad de fechado en anillos de árboles. Folleto Técnico 14. INIFAP, CENID-RASPA. Durango. 48 pp.
- Cruz, A.R. 2007. Dendrocronología y PIXE para la Evaluación del Crecimiento de pino Influenciado por el Cambio del Régimen Climático y la Contaminación Atmosférica en el Iztapopo. Tesis Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México.
- Daubenmire, R.T. 1990. Ecología Vegetal. Tratado de Autoecología de Plantas. 3^{ra} edición de la tercera reimpresión. Ed. Limusa. México. 496 pp. **(Consultado en: Paredes, 2010).**
- De la Paz Pérez, C. y A. Quintanar. 2001. Características anatómicas de la Madera de *Quercus castanea* Née, *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl. y *Q. laurina* Humb. et Bonpl. pp 95-107. *Revista Ciencia Forestal en México*. Vol. 24 núm. 86 124 pp.

- De la Paz Pérez, C., S. Vélez y J. Ceja. 2006. Anatomía de la Madera de ocho especies de *Quercus* (Fagaceae) de Oaxaca, México.
- Fahn A. 1978. Anatomía Vegetal. Ediciones H. Blume. Madrid, 643 pp.
- Ferrés, L. 1984. Biomasa, producción y mineralomasas del encinar montano de La Castanya (Montseny). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. **(Consultado en: Gené *et al*, 1993).**
- Ferreira, S. 2010. Dendrocronología y estructura de *Pinus hartwegii* en la cuenca del río Magdalena México D.F. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 60 pp.
- Flores-Velázquez, R., J.V. Rangel-Piñon, J. Quintanar-Olguin, M.E. Fuentes-López y L. Vázquez-Silva. 2002. Calidad de Maquinado de la Madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Puebla.
- Fritts H.C. 1976. Tree-rings and climate. Academic Press, London-New York, San Francisco.
- García-Suárez, A.M., C.J. Butler y M.G.L. Baillie. 2009. Climate signal in tree-ring chronologies in a temperate climate: A multi-species approach. *Dendrochronologia* 27, 183-198.
- Gené, C., J.M. Espelta, M. Gràcia y J. Retana. 1993. Identificación de los anillos anuales de crecimiento de la encina (*Quercus ilex* L.). Centre de Recerca Ecològica y Aplicacions Forestals. Universitat Autònoma de Barcelona. *Orsis*, 8: 127-139.
- Génova, M. y D. Martínez. 2001. La Dendrocronología como Fuente de Información de la Dinámica Forestal de *Pinus nigra* en Checa (Guadalajara) Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.
- Génova M. y C. Santana. 2006. Crecimiento y longevidad en el pino canario (*Pinus canariensis* Smith.). *Invest Agrar: Sist Recur For* 15(3), 296-307.

- Giménez, A.M., M. Juárez de Galíndez y N.A. Ríos. 2005. Variabilidad de Anillos de Crecimiento en Vinal (*Prosopis ruscifolia*). Revista Forestal Venezolana 49(2):197-203.
- González, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. México. 77 pp.
- González, V. 1986. Contribución al conocimiento del Género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de Jalisco. Inst. Bot. Univ. Aut. Guadalajara, México.
- Grissino, H. 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. Tree-Ring Research 59(2):63-79.
- INEGI. 2003. Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. Digital
- Jagels, R., J. Hornbeck and S. Marden. 1994. Drought and Cold Stress-Induced Morphometric Changes in Tree Rings of Red Spruce. Technical Bulletin Maine Agricultural and Forest Experiment Station No. 159.
- Lamas, S. y V. Rozas. 2007. Crecimiento radial de las principales especies arbóreas de la isla de Cortegada (Parque Nacional de las Islas Atlánticas) en relación con la historia y el clima.
- Martínez, D., 2002. VARIACIÓN MORFOMÉTRICA DE DOS ESPECIES DE ENCINOS ROJOS: *Quercus sartorii* Liebmann y *Quercus xalapensis* Humboldt & Bonpland (FAGACEAE). Tesis para Maestra en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Estado de México. 101 pp.
- Martínez, I.L., 2008. Variaciones climáticas registradas en anillos de crecimiento *Pinus patula* como indicadores del calentamiento global en el Parque Nacional desierto de los Leones. Tesis Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México.
- Matteucci, S.D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Eva V. Chesneau, Washington.

- Matus, A., A. Arriaga y G.H. De la Cruz. 2010. Encinos. Respuestas Morfofisiológicas a la Sequía. FES Iztacala. UNAM. 117 pp.
- Miranda, R., M.J. Puy y J.J. Martínez. 2007. El Árbol: Fuente de Información en las Ciencias de la Tierra. Elementos: Ciencia y cultura, 14(067): 41-43.
- Muñoz, D.J., A. Mendoza, F. López, A. Soler y M.M. Hernández. 2010. Edafología. Manual de Métodos de análisis de suelo. FES Iztacala, UNAM. 82 pp.
- Nixon, K., 1989. Phylogeny and systematics of the oaks. New York Food and Life Sciences Quarterly 22: 7-10. **(Consultado en: Martínez, 2002).**
- Nixon, K., 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. Annals of Science Forestry 50: 25-34
- NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SEMARNAT-1996. Procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de leña para uso doméstico. Diario Oficial de la Federación. Miércoles 23 de Abril de 2003.
- Paredes, T. 2010. Influencia de factores edáficos sobre la distribución de las especies de *Quercus* (Fagaceae) y la estructura de un bosque ubicado en los municipios de Timilpan y Chapa de Mota, Estado de México. Tesis Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM, México, 89 pp.
- Roig, F., M. Fernández, E. Gareca, S. Altamirano y S. Monge. 2001. Estudios Dendrocronológicos en los ambientes Húmedos de la Puna Boliviana. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental, 9: 3-13.
- Romero, S., C. Rojas y L.E. Rubio. Encinos de México. En Prensa.
- Romero, S., C. Rojas y M.L. Aguilar. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México, Annals. Missouri Botanical Garden. 89: 551-593.
- Rozas, V. 2004. Análisis estructural y dendroecológico del roble (*Quercus rubor*) en las carbayedas de Tragamón y la Isla, Gijón (Asturias). Ecología, España No.18, pp 127-146.

- Rozas, V. 2006. Caracterización y análisis de la señal climática en cronologías de *Fagus sylvatica* L. y *Quercus robur* L. en la región central de la Cornisa Cantábrica. Invest Agrar: Sist Recur For 15(2), 182-196
- Rubio, L.E., 2009. Reintroducción experimental de *Quercus candicans* Neé (Fagaceae) en Chapa de Mota, Estado de México. Tesis Posgrado en Ciencias Biológicas, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. México. 110 pp.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología y CONABIO. México. pp 1406.
- Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. Cuarta reimpresión de la primera edición. Ed. Limusa. México. 432 pp.
- Valencia S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. México. pp 33-53.
- Valencia S. y J. Barajas-Morales. 1995. Comparación de la Anatomía de la Madera de *Quercus affinis* y *Q. laurina* (Fagaceae). Anales del Instituto de Biología, UNAM. México, Ser. Bot. 66(2): 113-131.
- Valenzuela, O., C. Gallardo., M. Alorda., M. de los A. García y D. Díaz. Noroeste de Entre Ríos, (2005) Características de los sustratos utilizados por los viveros forestales, 55-57 pp.
- Villanueva, J., J. Cerano, D.W. Stahle, J. Estrada y V. Constante. 2008. Potencial Dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y Reconstrucciones de Precipitación y Flujo en México. Folleto Científico 23. INIFAP, CENID-RASPA. Durango. 49 pp
- Villanueva, J., J. Cerano, D.W. Stahle, M.D. Therrel, M.K. Cleaveland y I. Sánchez. 2004. Elementos Básicos de la Dendrocronología y sus aplicaciones en México. Folleto Técnico No. 2. INIFAP, CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 37pp.

- Villanueva, J., J. Cerano, D.W. Stahle, M.D. Therrel, L. Vázquez, R. Morán y B.H. Luckman. 2006. Árboles Viejos del Centro-Norte de México. Folleto Científico 20. INIFAP, CENID-RASPA. Durango. 46 pp.
- Villanueva, J., J. Cerano, D.W. Stahle, V. Constante y J. Estrada. 2010. Estandarización y desarrollo de series dendrocronológicas en México. Folleto Técnico 16. INIFAP, CENID-RASPA. Durango. 55 pp.
- Villanueva, J., J. Cerano, V. Constante, L.E. Montes y L. Vázquez. 2009. Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. Folleto Técnico 13. INIFAP, CENID-RASPA. Durango. 49 pp.
- Villavicencio, R., J. Espinosa, E. Hernández, A. Gallegos y A.L. Santiago. 2009. Medición Forestal. Universidad de Guadalajara. México. 71 pp.
- Zhang, S.H. 1987. Contribution a l'étude de la croissance en diamètre du chêne vert (*Quercus ilex* L.) en relation avec le climat. Tesis tercer ciclo. Universidad de Ciencias y Técnicas del Languedoc. **(Consultado en: Gené *et al*, 1993).**

http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_mexico

APÉNDICE I

Datos climáticos extrapolados de las 29 estaciones meteorológicas, durante el periodo de 1967 a 2010.

AÑO	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA
2010	134.2	21.4
2009	82.7	18.6
2008	106.6	18.5
2007	113.5	18.8
2006	122.6	18.8
2005	97.48	14.6
2004	145.5	14.3
2003	171.6	14.3
2002	64.5	14.9
2001	77.9	13.8
2000	67.9	16.8
1999	91.3	17.7
1998	196.6	17.9
1997	43.5	17
1996	75.6	16.7
1995	64.1	18.3
1994	68	18
1993	86.9	17.4
1992	50.11	18.2
1991	66.3	14.4
1990	59.7	13.7
1989	60	12.4
1988	48.7	17.7
1987	68	14.1
1986	68.8	13.7
1985	78.85	13.4
1984	116.3	13.7
1983	31.5	14.8
1982	37	15.4
1981	72.4	13.8
1980	83.7	13.7
1979	62.3	13.2
1978	55.3	13.1
1977	48.7	14.1
1976	90.6	14
1975	75.5	13.6
1974	56.7	12.1
1973	80.4	15
1972	70.8	15.1
1971	77.7	14.5
1970	77	14.5
1969	72.1	14.4
1968	79.4	13.8
1967	103	14

APÉNDICE II

Resultados de las pruebas físicas y químicas realizadas a los dos muestras de suelo a diferente profundidad.

Prueba	Profundidad (0-8 cm)	Categoría	Profundidad (9-18 cm)	Categoría
Color	Seco: 10 YR 4/3 Húmedo: 10 YR 2/2	Entre pardo y pardo oscuro Pardo muy oscuro	Seco: 10 YR 5/4 Húmedo: 7.5 YR 3/2	Pardo amarillo Pardo oscuro
Textura	Arenas: 72.4% Limos: 19.6% Arcillas: 8%	Franco arenoso	Arenas: 70.8% Limos: 19.2% Arcilla: 10%	Franco arenoso
Densidad Aparente (g/ml)	0.72	Bajo	0.83	Bajo
Densidad Real (g/ml)	3.293	Alto	1.97	Muy Bajo
Porosidad	78.2%	Muy alto	58.2%	Alto
Estructura	Poliédrica subangular	Estable	Poliédrica subangular	Estable
Consistencia	Duro Friable Ligeramente plástico Ligeramente adhesivo		Ligeramente duro Muy friable Ligeramente adhesivo Ligeramente plástico	
Materia Orgánica	14.73%	Extremadamente rico	3.51%	Moderadamente Rico
pH	5.23	Fuertemente Ácido	5.34	Fuertemente Ácido
C.I.C.T. (cmol/kg ¹)	33.40	Alto	20.93	Medio
% Ca	8.33 %	Bajo	27.71%	Bajo
% Mg	11.11 %	Medio	21.02%	Alto