



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Unidad Morelia

“Estimación del crecimiento anual de  
*Quercus magnoliifolia* Née mediante bandas  
dendrométricas en el ejido de Tumbisca,  
Michoacán”

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

P R E S E N T A

DAVID ALBERTO SALAS ROJAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. ERNESTO VICENTE VEGA PEÑA  
CO – TUTORA: DRA. TUYENI HEITA MWAMPAMBA

MORELIA, MICHOACÁN

DICIEMBRE, 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Unidad Morelia

“Estimación del crecimiento anual de  
*Quercus magnoliifolia* Née mediante bandas  
dendrométricas en el ejido de Tumbisca,  
Michoacán”

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

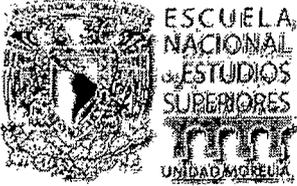
P R E S E N T A

DAVID ALBERTO SALAS ROJAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. ERNESTO VICENTE VEGA PEÑA  
CO – TUTORA: DRA. TUYENI HEITA MWAMPAMBA

MORELIA, MICHOACÁN

DICIEMBRE, 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA  
SECRETARÍA GENERAL  
SERVICIOS ESCOLARES

**LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCE**

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

**PRESENTE**

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 13** del **Comité Académico de la Licenciatura en Ciencias Ambientales** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia celebrada el día **12 de noviembre del 2018**, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional del alumno **David Alberto Salas Rojas** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **411000813**, con el trabajo profesional titulado: "Estimación del crecimiento anual de *Quercus magnoliifolia* Née mediante bandas dendrométricas en el ejido de Tumbisca, Michoacán", bajo la dirección como **tutor** del Dr. Ernesto Vicente Vega Peña y como **co-tutora** la Dra. Tuyeni Heita Mwampamba.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

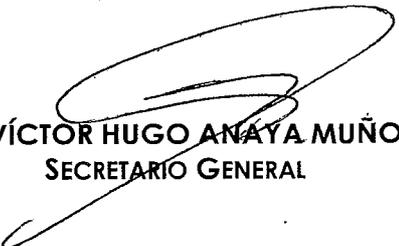
- Presidente:** Dr. José de Jesús Alfonso Fuentes Junco
- Vocal:** Dr. Fernando Pineda García
- Secretario:** Dr. Ernesto Vicente Vega Peña
- Suplente 1:** M. en C. Rafael Aguilar Romero
- Suplente 2:** M. en C. Jesús Eduardo Sáenz Ceja

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Morelia, Michoacán a, 23 de noviembre del 2018.

  
**DR. VÍCTOR HUGO ANAYA MUÑOZ**  
**SECRETARIO GENERAL**

**CAMPUS MORELIA**

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta  
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)689.3500 y (55)56.23.73.00, Extensión Red UNAM: 80614

[www.enesmorelia.unam.mx](http://www.enesmorelia.unam.mx)

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi espacio de aprendizaje.

A la Licenciatura en Ciencias Ambientales y profesores, por brindarme la oportunidad de ser su alumno, por compartirme su conocimiento y por ser un ejemplo en mi formación como Científico Ambiental.

Por su apoyo, paciencia y asesoría, a mi Tutor Dr. Ernesto Vicente Vega Peña y a mi co-tutora Dra. Tuyeni Heita Mwampamba.

Por su apoyo y disposición para ser miembros del jurado en mi examen profesional, al Dr. José de Jesús Alfonso Fuentes Junco, al Dr. Fernando Pineda García, al M.C. Jesús Eduardo Saénz Ceja y al M.C. Rafael Aguilar Romero.

Al departamento de Servicios Escolares, al Lic. Alejandro Rebollar Villagómez, al Lic. Agustín Martínez Morales así como al coordinador de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, el Dr. Jesús Alfonso Fuentes Junco.

Al apoyo recibido del proyecto PAPIIT IA201313-2 de la UNAM, bajo la dirección del Dr. Ernesto Vicente Vega Peña, dicho apoyo financió este proyecto.

Y a la beca recibida a través del proyecto PAPIIT IA201514 de la UNAM, bajo la dirección de la Dra. Tuyeni Heita Mwampamba.

## El Ciencioambientólogo Maldito

“Sonriente como pocos y algo socarrón”.

Simplemente no, no puede tener la razón”. El ciencioambientólogo maldito va por la vida sin preocuparse, esbozando una sonrisa y comentando lo que le viene en gana. El ciencioambientólogo maldito no se preocupa por el trabajo, por el dinero, por el estudio, ni por la fama. No le importa el porvenir, ni las cosas que hay por hacer, sólo vive el momento y hace de su vida algo así como su propio cuento, ese que le gusta a él, ese que para él vale la pena vivirse.

La gente y muchos de sus colegas lo miran siempre alarmados ¡No puede ser! dicen, ¿cómo puede ir alguien por la vida tan equivocado? El ciencioambientólogo maldito sigue su andar, ése que siempre lo ha caracterizado y vuelve a reír. Entre tanto, sus detractores siguen cuestionándole sobre sus modos y maneras de vivir.

Mientras que la mayoría de la gente se rige por ciertas reglas en común, a él sólo lo gobiernan las suyas, lo moral e inmoral para él dependen del contexto y el deber no es más que un vano invento. Hace lo que le viene en gana, dice lo primero que se le ocurre, le tiene sin cuidado si la gente se molesta por ello o no, de todos modos él lo seguirá haciendo; porque así es él, porque no va a cambiar, porque no lo van a cambiar, porque no tiene que hacerlo y porque no quiere hacerlo.

¿Qué tal si las personas que creímos que estaban equivocadas realmente siempre estuvieron en lo correcto? ¿Qué tal si el camino a seguir no siempre fue el recto? ¿Y si ir por ahí con reservas no es de lo que se trata la vida? ¿Y si sólo en este efímero momento lo único que importa es disfrutar lo que tienes y vivir con alegría? ¿Y si la vida para cada quién tiene distintos significados y por eso el ciencioambientólogo maldito nunca los ha criticado?

Habrá que volver a pensar entonces quién está equivocando y quién no lo está. Habrá que reflexionar sobre la complejidad y lo ambiental. Habrá que mirarnos nuevamente y cuestionar nuestro proceder. Habrá que replantearnos los problemas y cómo se quieren ver.

Muchos lo aborrecen, tal vez porque hay cierta parte de ellos que no les gusta y la ven reflejada en él. Los que no lo han comprendido le han retirado su amistad, lo han alejado de su vida y le han dado la espalda. Yo por mi parte, le llamo mi amigo y lo admiro.

Porque con su proceder sigue enseñando, con su actuar nos está desafiando, porque al oírlo hablar nos damos cuenta que sabe lo que dice y lo que hace, y siempre lo ha sabido. Porque hasta las ciencias ambientales a su hijo han desconocido. Porque a veces es difícil soportar tanto calor cuando se ha acostumbrado al frío.

El ciencioambientólogo maldito camina, oye sus críticas y sigue caminando.

Por: José Ricardo Vélez Molina.

## **DEDICATORIA**

Quisiera dedicarle este trabajo a todas las personas que siempre me han apoyado a lo largo de mi vida y trayectoria profesional, especialmente a aquellas que de manera incondicional me han tendido su mano para poder llegar a este momento. A mis padres, hermanos y sobrinos, por siempre respetar y apoyar mis decisiones, por su amor y apoyo. Estoy infinitamente agradecido con Ernesto Vega, por su gran paciencia y porque no solo me ha brindado su apoyo académico, sino también como un ser humano y un amigo. A Tuyeni Mwampamba por ser un ejemplo de sencillez, disciplina y conocimiento en mi trayectoria académica. A Jorge, quien me conoce, me regaña, me dice mis verdades y en ocasiones me dice lo que quiero escuchar. A María José por su gran amistad y cariño, por regalarme una sonrisa sincera en los momentos difíciles. A Angélica por su cariño, por involucrarme en su vida, por su bella energía y nuestras pláticas profundas. A Richard por su sincera amistad y porque a pesar de la distancia, se ha hecho presente. A Hazel Zavala, Patricia López, Gabriela Arroyo, Luis Alfonso, Alejandra Blanco, Wagner, Saúl, Saulo, Gonzalo, Tania, Aurora, Miguel y a la comunidad de Tumbisca por su apoyo durante la creación de esta tesis.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1. Instrumentos de Mensura Forestal	4
1.2. Bandas Dendrométricas: Descripción y Función	8
1.3. Uso de Bandas Dendrométricas en la Investigación Forestal en México y el Mundo	11
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
3.1. Objetivo General	16
3.2. Ojetivos Específicos	16
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>16</b>
4.1. Área de estudio	16
4.2. Descripción de la especie de estudio	18
4.3. Descripción del estudio	19
4.3.1. Preparación para la Instalación de Bandas Dendrométricas	20
4.3.2. Construcción de Bandas Dendrométricas	23
4.3.3. Instalación de Bandas Dendrométricas	24
4.3.4. Monitoreo del Crecimiento	25
4.3.5. Análisis Estadísticos	25
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>27</b>
5.1 Funcionamiento de las bandas	27
5.2. Calidad de la información obtenida	28
<b>6. DISCUSIÓN</b>	<b>34</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>38</b>
<b>8. REFERENCIAS</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Caracterización de dendrómetros según disponibilidad, restricciones, precisión, velocidad de instalación y precio.	6
<b>Cuadro 2.</b> Análisis de Covarianza para el efecto del sitio y el PAP inicial en el crecimiento perimetral de <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.	31
<b>Cuadro 3.</b> Efecto del sitio y el PAP inicial en el crecimiento perimetral de <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.	32
<b>Cuadro 4.</b> ANOVA de Medidas Repetidas para evaluar el efecto del sitio y el tiempo en el crecimiento.	33
<b>Cuadro 5.</b> Tasa de Crecimiento anual de ocho distintas especies de <i>Quercus</i> en cinco partes del mundo.	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> La banda dendrométrica. Elaboración propia.	10
<b>Figura 2.</b> Mapa del ejido de Tumbisca, y las regiones y cuencas que abarca.	17
<b>Figura 3.</b> Mapa de vegetación y cobertura del ejido de Tumbisca.	18
<b>Figura 4.</b> <i>Quercus magnoliifolia</i> Née.	19
<b>Figura 5.</b> Croquis de los árboles estudiados y distribuidos en sitio perturbado (SP) y sitio sin perturbación (SSP).	22
<b>Figura 6.</b> Prueba de T Pareada en Software R.	30
<b>Figura 7.</b> Incremento Perimetral Anual (m) en función del tamaño del individuo y del sitio.	31
<b>Figura 8.</b> Incremento perimetral (m) en ambos sitios en función del tiempo (días).	33

## RESUMEN

El estudio de la dinámica del crecimiento de los árboles y bosques de *Quercus* en México, proporcionan información importante para la creación de planes de Manejo Forestal Sustentable (MFS) y Manejo Forestal Comunitario (MFC) exitosos, los cuales son una alternativa viable para el aprovechamiento y conservación sustentable de los bienes y servicios que proporcionan los bosques de uno de los géneros forestales con más importancia económica y ecosistémica en el país. En el presente estudio se implementó una metodología basada en bandas dendrométricas, que permiten medir y estimar el crecimiento anual perimetral de *Quercus magnoliifolia* Née. Se seleccionaron 70 árboles de *Quercus magnoliifolia* Née en dos parcelas forestales con historias de manejo distintas (un sitio perturbado por un incendio y otro sin perturbación antropogénica aparente) en el ejido de Tumbisca, Michoacán. A cada uno de los árboles se les instalaron las bandas dendrométricas para tomar lecturas trimestrales de su incremento perimetral durante un año y medio. A partir del análisis de datos en el Software R, se obtuvieron tasas de crecimiento anual de 36.48 mm/año para el sitio perturbado y 13.37 mm/año para el sitio sin perturbación. Las tasas de crecimiento variaron en función del sitio. El perímetro de los árboles en el tiempo final fue significativamente mayor que el inicial en ambos sitios. Los árboles dentro del sitio perturbado presentaron mayor crecimiento que los del sitio sin perturbación. El crecimiento anual dependió del perímetro a la altura del pecho inicial (PAP) y del sitio.

## ABSTRACT

The study of the growth dynamics of trees and forests of *Quercus* in Mexico, provide important information for the creation of successful Sustainable Forest Management (SFM) and Community Forest Management (CFM) plans, which are a viable alternative for the exploitation and sustainable conservation of the goods and services provided by the forests of one of the most important economic and ecosystemic forest genera in the country. In the present study, a methodology based on dendrometric bands was implemented, which allows to measure and estimate the annual perimeter growth of *Quercus magnoliifolia* Née. 70 trees of *Quercus magnoliifolia* Née were selected in two forest plots with different management histories (one site disturbed by a fire and another without apparent anthropogenic disturbance) in the ejido Tumbisca, Michoacán. Dendrometric bands were installed on each of the trees to take quarterly measurements of their perimeter increment for a year and a half. From the data analysis in Software R, annual growth rates of 36.48 mm / year for the disturbed site and 13.37 mm / year for the undisturbed site were obtained. Growth rates varied according to the site. The perimeter of the trees in the final time was significantly greater than the initial perimeter in both sites. The trees within the disturbed site showed higher growth than those of the undisturbed site. The annual growth depended on the initial Perimeter at Breast Height (PBH) and the site.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Manejo Forestal Comunitario (MFC) en México además de remontarse a muchos siglos atrás, ha sido parte de un fuerte proceso agrario que perdura hasta la actualidad (Sabogal et al., 2008; Koleff et al., 2012). Por un lado, distintas sociedades prehispánicas desarrollaron conocimientos y prácticas de manejo forestal reconocidas actualmente por ser sustentables y las cuales siguen presentes dentro de las comunidades indígenas y campesinas del país (Alcorn, 1993; Toledo et al., 2003; Sabogal et al., 2008; Koleff et al., 2012). Por otro lado, la Revolución Mexicana dejó un proceso de reforma agraria en donde cerca del 60% de los bosques del país fueron asignados dentro de dos sistemas de propiedad comunal establecidas en el Artículo 27 de la constitución: los ejidos y las comunidades (Bray, 2010; Cronkleton et al., 2012). En la actualidad, el Manejo Forestal Comunitario continúa siendo una de las diversas oportunidades para asegurar el bienestar de muchos mexicanos, de los ecosistemas (Stone & D'Andrea, 2001; Bray et al., 2003; Sabogal et al., 2008) y contribuir a la mitigación del Cambio Climático (Klooster & Masera, 2000; Bray, 2010).

El MFC es una vertiente del Manejo Forestal Sustentable (MFS), un tipo de aprovechamiento de los bienes y espacios forestales de un modo racional que asegure la productividad, la estructura y la funcionalidad de los bosques en el presente y el futuro (Aguirre-Calderón, 2015). Varios autores han analizado y documentado diversas experiencias de MFS y MFC a lo largo y ancho de América Latina, permitiéndoles evidenciar una de las fallas más importantes al implementar estrategias de regulación en el crecimiento y producción de árboles y masas forestales: la falta de información sobre el estado, la dinámica del crecimiento y la productividad de los bosques (Smartwood, 2006; Bray et al., 2007; Sabogal et al., 2008; Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2010).

La generación de dicha información requiere, por un lado, de la implementación de instrumentos metodológicos que permitan obtener datos de campo precisos de manera fácil y económica (Bray et al., 2003; Sabogal et al., 2008). Por ejemplo, al intentar medir constantemente el crecimiento de muchos árboles en un bosque, no

sería eficiente utilizar instrumentos como la cinta diamétrica, que a pesar de tener un bajo costo adquisitivo, presentan baja precisión, además de que demandan mucho trabajo humano y tiempo (O'Brien et al., 2008). Por otro lado, se requiere de una estrecha colaboración entre la comunidad y la academia para abordar la complejidad tanto de los sistemas forestales como de las metodologías implementadas (Bray et al., 2007; Sabogal et al., 2008). Klooster (2002) propone un diálogo transversal entre ciencia y conocimiento local, un monitoreo participativo para evaluar los resultados de diferentes técnicas metodológicas implementadas, así como la creación de experimentos explícitos para facilitar el entendimiento de la actividad realizada.

La presente investigación evalúa la factibilidad de utilizar bandas dendrométricas como un instrumento que permite tanto generar información real y precisa sobre el crecimiento diamétrico de árboles de gran importancia económica y ecosistémica en México, así como atender a uno de los desafíos asociados al monitoreo comunitario, por su fácil utilización y eficiencia.

### **1.1. Instrumentos de Mensura Forestal**

El manejo sustentable de los bosques requiere de conocer valores de crecimiento y producción del área forestal en el presente y predecir futuras estimaciones (Aldana, 2008). Existe una ciencia forestal encargada de estudiar los problemas asociados a la existencia, crecimiento y manejo de los bosques a través de principios básicos matemáticos, geométricos, físicos y con un sustento estadístico (Carpenter, 1979; Prodan, 1997), esta ciencia es la dasometría (Mackay, 1964) también conocida como mensura forestal (Prodan, 1997). La dasometría se divide en dendrometría, estereometría y epidometría, e incluye también al inventario forestal. A partir de estudios dasométricos se pueden obtener mediciones de árboles individuales, medición de rodales, productividad, densidad, estructura, rendimiento y crecimiento, así como datos a partir del uso de fotografías aéreas (Prodan, 1997).

Existen numerosos instrumentos (dendrómetros y epidómetros) que permiten medir la circunferencia y diámetro de los árboles, los cuales varían en precisión, practicidad y costo.

Desde los años setenta, se han ido desarrollando diversos dendrómetros, muchos se siguen utilizando y otros se han retirado. Los instrumentos de más reciente creación (electrónicos y de láser) han ayudado a la recolección de datos en grandes masas y de manera rápida, pero también han causado controversia por sus elevados precios, la dependencia en expertos para su utilización, su poca practicidad, e incluso su precisión y productividad (Clark et al., 2000). Se les ha comparado con los instrumentos tradicionales y se puede observar que muchas de estas nuevas tecnologías tan sólo los han podido superar en precio (Cuadro 1).

Los dendrómetros de contacto como las cintas diamétricas y el vernier, hasta el momento son los más precisos y económicos; estos instrumentos son ideales para situaciones de inventario, donde una gran cantidad de tallos son medidos y existen modelos adecuados de predicción para la variable de interés (Clark et al., 2000). Su precisión es tan buena y comparable con la del *Electronic Tree Measuring Fork* o Horquilla Electrónica de Medición de Árboles (Control One, Belgium), uno de los instrumentos más precisos con mayor precio de adquisición, pero con costos laborales menores si se requiere de medir muchos árboles. A pesar de que las cintas diamétricas son precisas, rápidas, fáciles de utilizar y leer, su uso contempla un error potencial. Al realizar mediciones repetidas, es poco posible posicionar la cinta en el lugar exacto del tronco del árbol de donde se ha obtenido la medición previa, lo que genera errores de locación (Bower & Blocker, 1966; Cameron & Lea, 1980). Los instrumentos de óptica/contacto (híbridos) son menos precisos, pero suelen ser prácticos y económicos. Los instrumentos *Barr&Stroudy* el láser son los más precisos y también los instrumentos más caros actualmente disponibles (Keeland & Sharitz, 1993; Clark et al., 2000).

**Cuadro 1.** Caracterización de dendrómetros según disponibilidad, restricciones, precisión, velocidad de instalación y precio.

<b>DENDRÓMETRO</b>	<b>Disponibilidad comercial para México</b>	<b>Restricciones prácticas de instalación (2)</b>	<b>Precisión</b>	<b>Velocidad de instalación</b>	<b>Precio en México</b>
<b>Bandas dendrométricas</b>	Sí	d h	2	1	1
<b>Dendrómetros Dial-Gauge</b>	Sí	h	1	5	2 a 4
<b>Cintas diamétricas</b>	Sí	d h	2	1	1
<b>Vernier</b>	Sí	d h	2	1	2
<i>Electronic Tree Measuring Fork</i>	No	d h	2	1	NA
<b>Pentaprisma de Wheeler</b>	Sí	d HN	4	1 o 3 (3)	3
<b>Pentaprisma de McClure</b>	No	HN	5	1 o 3 (3)	NA
<i>Barr &amp; Stroud</i>	No	b p	3	4	NA
<i>Teletops</i>	No	bp	3	4	NA
<b>Metroscopio</b>	Sí	p DN	5	3	2
<b>Telerelascopio</b>	Sí	p DN	4	3	NA
<b>Relascopio</b>	Sí	DN	5	3	4
<b>Instrumento Láser Criterion</b>	Sí	b	4	2	7
<b>Cámara 35 mm</b>	Sí	p HN	5	6	5 (4)

<b>Cámara Minolta MC-100</b>	No	p AN	3	2	NA
<b>Cámara Digital Kodak DC120</b>	Sí	p HN	6	6	6

<p><b>1</b> Números más bajos = más favorables.</p>
<p><b>2</b> d—límite diamétrico, h—límite de altura, b—volumen/peso del instrumento, p—procesamiento posterior requerido: ángulo separado (AN), distancia (DN), o requerimiento de altura(HN).</p>
<p><b>3</b> Más lento si las alturas son necesarias.</p>
<p><b>4</b> Costos Externalidades (material, desarrollo, etc.).</p>
<p><b>Nota:</b> Los dendrómetros mejor posicionados son las bandas dendrométricas y las cintas diamétricas.  <b>CUADRO MODIFICADO DE:</b> Clark, N. A., Wynne, R. H., &amp; Schmoltdt, D. L. (2000). A review of past research on dendrometers. <i>Forest Science</i>, 46(4), 570-576.</p>

En los instrumentos epidométricos ha habido menor innovación. En el mercado se puede encontrar al fitotensiómetro (Alvim, 1976), instrumento con el cual se pueden obtener mediciones de la expansión y dilatación del tronco de los árboles, este instrumento puede ser de fábrica o construido artesanalmente. El fitotensiómetro cumple con el requisito de viabilidad económica, se acerca al objetivo de la precisión, pero no es práctico al instalarse y utilizarse (Imaña & Encinas, 2008).

Otro instrumento es el DialDendro (Relaskop-Technit Vertriebsges, Salzburg, Austria), el cual permite realizar mediciones periódicas del crecimiento diamétrico en intervalos de tiempo definidos (Imaña & Encinas, 2008). Básicamente, está compuesto de una escala de nonios (una segunda escala auxiliar que complementa a la escala principal y permite visualizar una mayor exactitud) y un resorte metálico localizado lateralmente en el interior de la caja de soporte. Dependiendo de la

dimensión de la circunferencia del tronco a ser medido, se pueden utilizar varias bandas metálicas de 300 o 900 mm de largo en un sistema de encaje, que acompañan el instrumento (Encinas, 1995). El principio de medición se fundamenta en la expansión del resorte a cada aumento del crecimiento diamétrico del tronco. La escala de medición está preparada para registrar cambios o incrementos de la circunferencia del tronco a partir de 80 mm. Entre una medición y otra se puede determinar el crecimiento diamétrico correspondiente de una forma precisa, pero es un instrumento menos asequible (Imaña, 1994).

El microdendrómetro (Ugalde, 1981) es otro instrumento epidométrico muy parecido a la banda dendrométrica y es incluso, más sofisticado, pero sigue superando la viabilidad económica, la disponibilidad comercial y la practicidad al ser utilizado. Este instrumento está diseñado para medir las variaciones del diámetro en periodos relativamente cortos (horas, días, semanas o meses). Unido a un instrumento registrador, se convierte en un “microdendrógrafo”, capaz de registrar gráficamente el crecimiento diamétrico (Ugalde, 1981; Imaña & Encinas, 2008).

A pesar de la gran variación entre los usuarios y las aplicaciones, el objetivo principal de la investigación dasométrica es seleccionar un instrumento que produzca resultados deseados y fiables al menor costo y con la mayor precisión. Con el respaldo bibliográfico, la presente investigación ha puesto todo el interés en las bandas dendrométricas como la herramienta más viable para la medición y estimación comunitaria del crecimiento perimetral de árboles de *Quercus*. Diversos autores también han propuesto a las bandas dendrométricas como un método preciso, económico, sencillo de construir y de fácil operatividad (Liming, 1957; Worbes et al., 1995; López-Ayala et al., 2006; Galán, 2007; Manzano-Méndez, 2010; Anemaet & Middleton, 2013).

## **1.2. Bandas Dendrométricas: Descripción y Función**

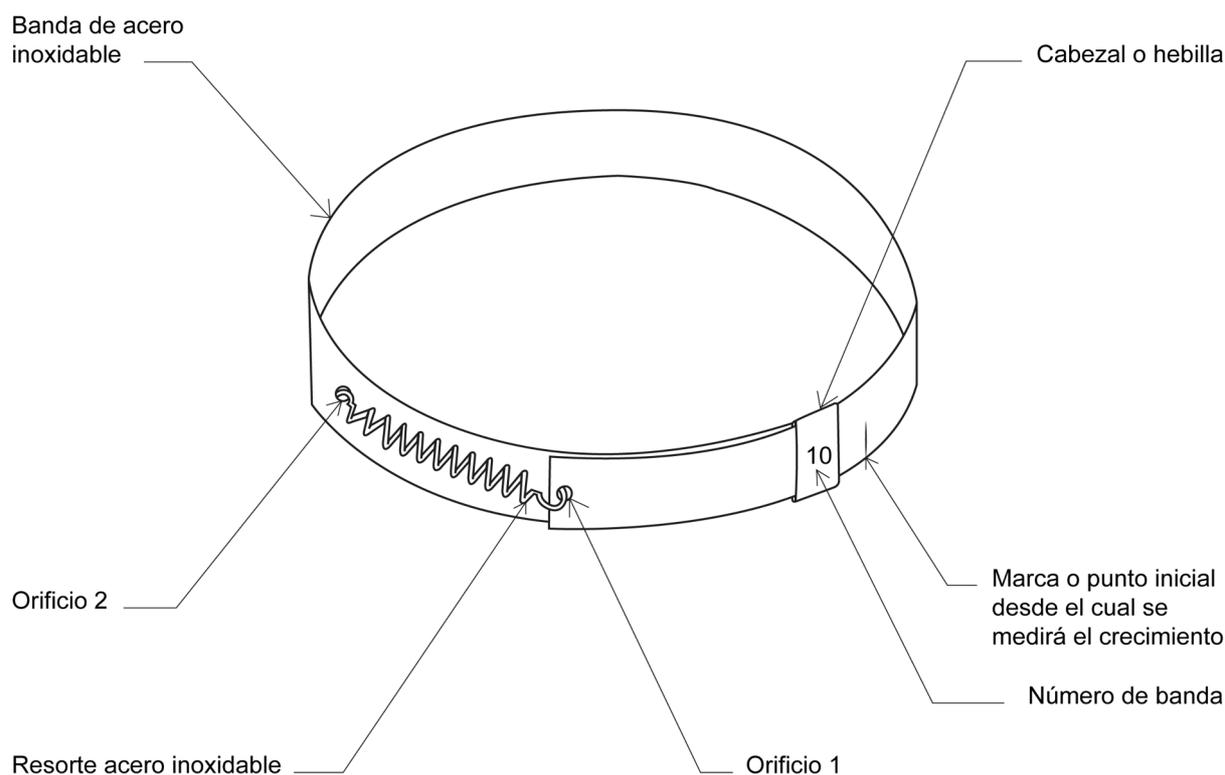
La banda dendrométrica consiste en una tira delgada de metal colocada alrededor de la zona correspondiente al Perímetro a la Altura del Pecho (PAP) de un árbol, es decir, 1.30 m desde el suelo. Uno de los extremos de la banda se pasa a través de un

pequeño collar pegado al extremo opuesto (justo como cuando se pasa un extremo de un cinturón por la hebilla), luego se conecta de nuevo a sí mismo con un resorte (Figura 1). A medida que el árbol crece, se contrae o se hincha, el resorte permite que la banda se mueva de acuerdo a la circunferencia del árbol, para medir los incrementos en diámetro, se utiliza un vernier digital.

Las bandas dendrométricas fungen un papel parecido al de la cinta diamétrica, pero la ventaja es que estas se pueden instalar por tiempo indefinido en el árbol, facilitando el proceso de registro de crecimiento en la circunferencia, así como evitar cualquier tipo de sesgo que representa el uso de cinta diamétrica, por ejemplo, mala precisión de la graduación o la mala colocación de la cinta (Bower & Blocker, 1966; Cameron & Lea, 1980).

Las bandas dendrométricas se pueden construir con cintas de materiales como el aluminio, pero, el acero inoxidable es el material más óptimo por ser económico, delgado, fácil de trabajar y resistente a los factores bióticos y abióticos de la intemperie (Keeland & Sheritz, 1993; Anemaet & Middleton, 2013; Keeland & Young, 2014); además de presentar menor expansión térmica, lo que le permite ganar mayor precisión en una banda dendrométrica (Anemaet & Middleton, 2013).

En México, se pueden encontrar cintas de acero inoxidable en casi cualquier ferretería, distribuidora de materiales para la construcción o se puede pedir directamente con el fabricante de flejes de metal. La cinta generalmente viene en presentación de 2.5 cm de ancho por 0.3 mm de espesor, en paquetes de varios metros de largo, lo cual hace más sencillo el trabajo cortando diferentes segmentos según el PAP del árbol. Los resortes utilizados en las bandas dendrométricas, también deben ser de acero inoxidable u otro material resistente a la oxidación y en general resistentes para evitar que se rompan con el tiempo. Las dimensiones del resorte pueden variar, pero generalmente se ha encontrado que una longitud de 76.2 cm, con un diámetro de 6.35 mm y un diámetro del alambre de 0.66 mm han funcionado muy bien (Keeland & Young, 2014). Estos resortes proporcionan una tensión inicial de 1.48 N, en un rango de 0.087 N/mm, y una extensión máxima de 190.5 mm (Keeland y Young, 2014).



**Figura 1.** La banda dendrométrica. Elaboración propia.

Las bandas dendrométricas son un instrumento “dinámico” adecuado para hacer mediciones precisas y repetidas del incremento en la circunferencia/diámetro del tallo de los árboles en distintos periodos de tiempo. Desde sus inicios con Hall (1944) y hasta la actualidad, el uso de las bandas dendrométricas se ha vuelto uno de los métodos más comunes en la mayor parte de las investigaciones forestales en Estados Unidos, Canadá y Europa (Keeland & Sheritz, 1993; Sheil, 2003; Vitas, 2010; Keeland & Young, 2014; Vieira et al., 2014; McMahon & Parker, 2015; Salomon et al., 2017; Lechuga et al., 2018) con una precisión menor a 0.05 cm (Auchmoody, 1976).

Diversos autores han cumplido múltiples objetivos al emplear bandas dendrométricas dentro de su marco metodológico. Por ejemplo, han explicado cambios en diámetro y evaluado tasas de producción de madera a través de un año (Auchmoody, 1976); han obtenido mediciones precisas durante periodos de una o más estaciones de crecimiento e incluso de periodos más largos (Worbes, 1995); han medido las respuestas en el crecimiento de árboles con diferentes diámetros a tratamientos en periodos cortos (López-Ayala et al., 2006). También han comparado las medidas continuas del crecimiento con datos de clima para proporcionar información sobre los

ritmos de crecimiento que dependen de eventos climáticos (Worbes, 1995), además de generar información diversa sobre el crecimiento en circunferencia/diámetro (Da Silva et al., 2002; O'Brien et al., 2008; Pineda-Herrera, 2015).

A continuación, se explica brevemente el estado del arte de esta herramienta dentro de la investigación en el género *Quercus*. Después en el marco metodológico se abordarán detalles de su construcción, instalación y operación. Tanto la teoría como la práctica en torno a las bandas dendrométricas se ha basado en los trabajos de Hall (1944), Cattelino et al. (1986), Keeland & Sharitz (1993), Anemaet & Middleton (2013), y Keeland & Young (2014). Décadas de investigación empleando bandas dendrométricas comprueban su efectividad y precisión como instrumento dasométrico.

### **1.3. Uso de Bandas Dendrométricas en la Investigación Forestal en México y el Mundo**

Las zonas montañosas de México se caracterizan por sus bosques de encino, que junto con los pinos, forman la mayor parte de la cobertura vegetal de los bosques de clima templado y semihúmedo del país (Rzedowski, 1994). Con alrededor de 161 especies, México es el país con mayor riqueza y evolución de encinos en el continente americano (Valencia, 2004; Arizaga, 2009). Se calcula que 109 son endémicos, es decir el 68% de los encinos del continente americano sólo se encuentran en México (Arizaga, 2009). A nivel nacional, la madera de encino ocupa el segundo lugar de aprovechamiento y los usos a los que se destina principalmente son: celulosa (54%), escuadría (30%), leña (7%) y carbón (6%) (de la Paz Pérez et al., 2000).

Al igual que en otras especies leñosas de árboles, el crecimiento en la circunferencia del tallo de los *Quercus* es promovido por la dinámica de las células del cambium, el cual responde a los factores ambientales locales y estacionales (Rossi et al., 2006; Callado et al., 2013; Chan et al., 2016; Shestakova et al., 2016). Este crecimiento es un indicador de bienestar físico, productividad, disponibilidad de recursos y demografía en los árboles y bosques de encino y otros géneros (O'Laughlin et al., 1994; Gould et al., 2011; Mc Mahon & Parker 2015).

En el presente estudio se ha realizado una búsqueda de investigaciones académicas en las que se empleen bandas dendrométricas para la medición del crecimiento de alguna especie del género *Quercus*. La mayoría de las investigaciones con bandas dendrométricas en México, se han hecho para árboles de ecosistemas tropicales. Por ejemplo, Méndez et al. (2010), analizó el crecimiento, la periodicidad y la biomasa de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson; Klimas et al. (2013) evaluaron el crecimiento anual en diámetro de *Carapa guianensis* para un proyecto de extracción sustentable de madera de la misma especie; y Pineda-Herrera et al. (2018) estudiaron el crecimiento en diámetro de *Cordia alliodora* en un sistema agroforestal de Oaxaca. Sorprendentemente, no se ha encontrado al menos un estudio hecho para el género *Quercus*.

Dentro del ámbito internacional, gran parte de las investigaciones dendrométricas empleando bandas dendrométricas en *Quercus* están orientadas a conocer las relaciones entre un factor ambiental (como el clima, la temperatura, la disponibilidad de agua, entre otros) y el crecimiento del árbol (Hincley & Bruckerhoff, 1975; Conner et al., 1988; Jones et al., 1993; Edwards & Hanson, 1996; Naidu & Delucia, 1999; Campbello et al., 2007; Hanson et al., 2007; Gutiérrez et al., 2011; Wagner et al., 2012; Olivar et al., 2014; Takahashi & Koike, 2014; Martín et al., 2015; Pacheco et al., 2015; Schmidt et al., 2015; LeBlanc & Stahle, 2015; Allen et al., 2016). Muchas otras están dedicadas a la dinámica del carbono en los encinos, lo cual es importante para la investigación en el tema del Cambio Climático (Barford et al., 2001; Hertel & Leuschner, 2002; Rambal et al., 2004; Chiang et al., 2008; Marjanović et al., 2009, 2011; McCarthy et al., 2010; Way et al., 2010; Hardiman et al., 2013; Fenn et al., 2015); y otras se han enfocado en describir la dinámica estacional del crecimiento de los encinos (Keeland & Sharitz, 1995; Kuroda & Kiyono, 1997; Costa et al., 2002; Hanson, 2003; Yan et al., 2006; Du et al., 2007; Marti et al., 2012).

Durante las fases de construcción, instalación y uso de las bandas dendrométricas, los siguientes trabajos emplearon las técnicas descritas por Hall (1944), Cattelino et al. (1986), Keeland y Sharitz (1993), y Anemaet y Middleton (2013):

- Curtis et al. (2002) hicieron mediciones del Intercambio Neto de CO<sub>2</sub> en el Ecosistema (NEE en inglés) a través de métodos micro-meteorológicos y mediciones de las principales reservas y flujos de carbono en bosques. Para ello utilizaron la combinación de mediciones forestales, ecofisiología y otros métodos biométricos, específicamente para estimar el incremento anual de madera al medir los cambios en el diámetro a la altura del pecho (DAP) empleando bandas dendrométricas.
- Dentro de su investigación sobre los efectos del fuego prescrito y el aclareo silvícola en los almacenes de carbono del suelo y la producción primaria neta de árboles de roble y nogal americano, Chiang et al. (2008) instalaron bandas dendrométricas en árboles de *Quercus* para documentar medidas periódicas de su crecimiento en diámetro, específicamente calcularon Crecimiento Relativo, el cual les sirvió para parametrizar un modelo de balances de carbono (PnET-II).
- Vázquez-Piqué y Salguero (2009) estudiaron la influencia de la reducción de la cubierta de pino sobre el crecimiento del alcornoque (*Quercus suber L.*) a través del empleo de bandas dendrométricas, con el fin de mejorar el conocimiento sobre los factores que afectan al crecimiento de esa especie y su consecuente gestión y conservación.
- Park et al. (2010), realizaron una comparación entre dendrómetros utilizando como muestra individuos de *Quercus mongolica* y otras especies de árboles. En sus conclusiones ellos recomiendan el uso de bandas dendrométricas para mejorar la precisión en la medición de biomasa y producción en ecosistemas forestales.
- Gould et al. (2011) realizaron un estudio de caracterización de crecimiento (en periodos multianuales y entre años individuales) y evaluación de los principales factores que afectan el crecimiento y supervivencia del encino blanco de Oregon (*Quercus garryana*). Dentro del estudio, los patrones interanuales de crecimiento de la especie fueron evaluados a través de una medición precisa del diámetro basal utilizando

bandas dendrométricas. Los diámetros fueron medidos con un vernier sobre las bandas dendrométricas con una precisión menor a 0.05 mm.

- Gutiérrez et al. (2011) examinaron las fluctuaciones en el radio del tronco en individuos de *Quercus ilex* L. para determinar su relación con variables climáticas a través de correlaciones con la periodicidad mensual, estacional y anual.
- Martín et al. (2015) investigaron las relaciones costo-beneficio entre la producción de bellota y el crecimiento del tallo en individuos de *Quercus ilex* dentro de períodos anuales e intra-anuales. En su investigación obtuvieron medidas del crecimiento basal de los árboles a partir de bandas dendrométricas. Con los datos obtenidos calcularon crecimiento anual, crecimiento estacional, crecimiento periódico y estimaron la correlación entre la bellota y el crecimiento anual, así como entre la producción de bellota y el crecimiento tardío de verano y otoño.
- Allen et al. (2015) investigaron los efectos hidrológicos sobre el crecimiento diamétrico de dos especies de árboles, entre ellos la especie *Quercus lyrata*. Para su investigación emplearon bandas dendrométricas en distintos individuos de las dos especies dentro de distintos regímenes hidrológicos. Este método fue utilizado para determinar cómo variaba el crecimiento durante las estaciones y como la temporalidad del crecimiento estaba relacionada con la hidrología y las dos especies del sitio.

En general, en México aún son pocos los estudios, inventarios y herramientas que permitan un mayor conocimiento del género *Quercus* en sus diversas asociaciones con otras especies y en los distintos ambientes que se desarrollan (Zavala, 2000; Valencia-A, 2017). Marañón et al. (2014) mencionan un total de 13,469 publicaciones ligadas al género *Quercus* en revistas indexadas, en donde solo el 1.7% corresponden a publicaciones mexicanas y ninguna corresponde al uso de bandas dendrométricas en encinos.

La presente investigación muestra un marco metodológico sencillo, económico y preciso basado en bandas dendrométricas con las que se obtuvieron mediciones del crecimiento de individuos del género *Quercus* en periodos inter-anales y anuales en dos áreas con historias de manejo contrastantes: un sitio con una ocurrencia de disturbio (incendio), y un sitio sin perturbación antropogénica. Asimismo, con el apoyo estadístico, se estimaron tasas de crecimiento anual; se evaluó la dinámica del crecimiento según el sitio y entre ambos; se analizó el crecimiento en función del sitio y de los tamaños iniciales y finales para conocer relaciones y variaciones; y finalmente se analizó el efecto del sitio y el tiempo sobre el crecimiento.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

La creación de planes de Manejo Forestal Sustentable (MFS) y Manejo Forestal Comunitario (MFC) requiere de la generación de información dasométrica de bosques y masas forestales (Prodan, 1997; Smartwood, 2006; Bray et al., 2007; Sabogal et al., 2008). Dichos datos permitirán a los tomadores de decisiones llevar a cabo mejores estrategias para aprovechar los bienes y servicios de los encinares (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2010). En este sentido, la medición del incremento periódico de la circunferencia/diámetro de los árboles manejados, es uno de los aportes más importantes junto con la medición de la altura y el volumen. Este trabajo pretende monitorear el incremento en la circunferencia de árboles de *Quercus* a través de bandas dendrométricas, un instrumento que además de ser fácil de construir, es barato y preciso. Además de su importante utilidad para la generación de información dasométrica en el género *Quercus*, este trabajo constituye una de las primeras investigaciones sobre medición de la circunferencia de dicho género en todo México.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

El presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la factibilidad de las bandas dendrométricas para monitorear el incremento en la circunferencia de árboles de *Quercus magnoliifolia* Née en la comunidad ejidal de Tumbisca, Michoacán, México.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

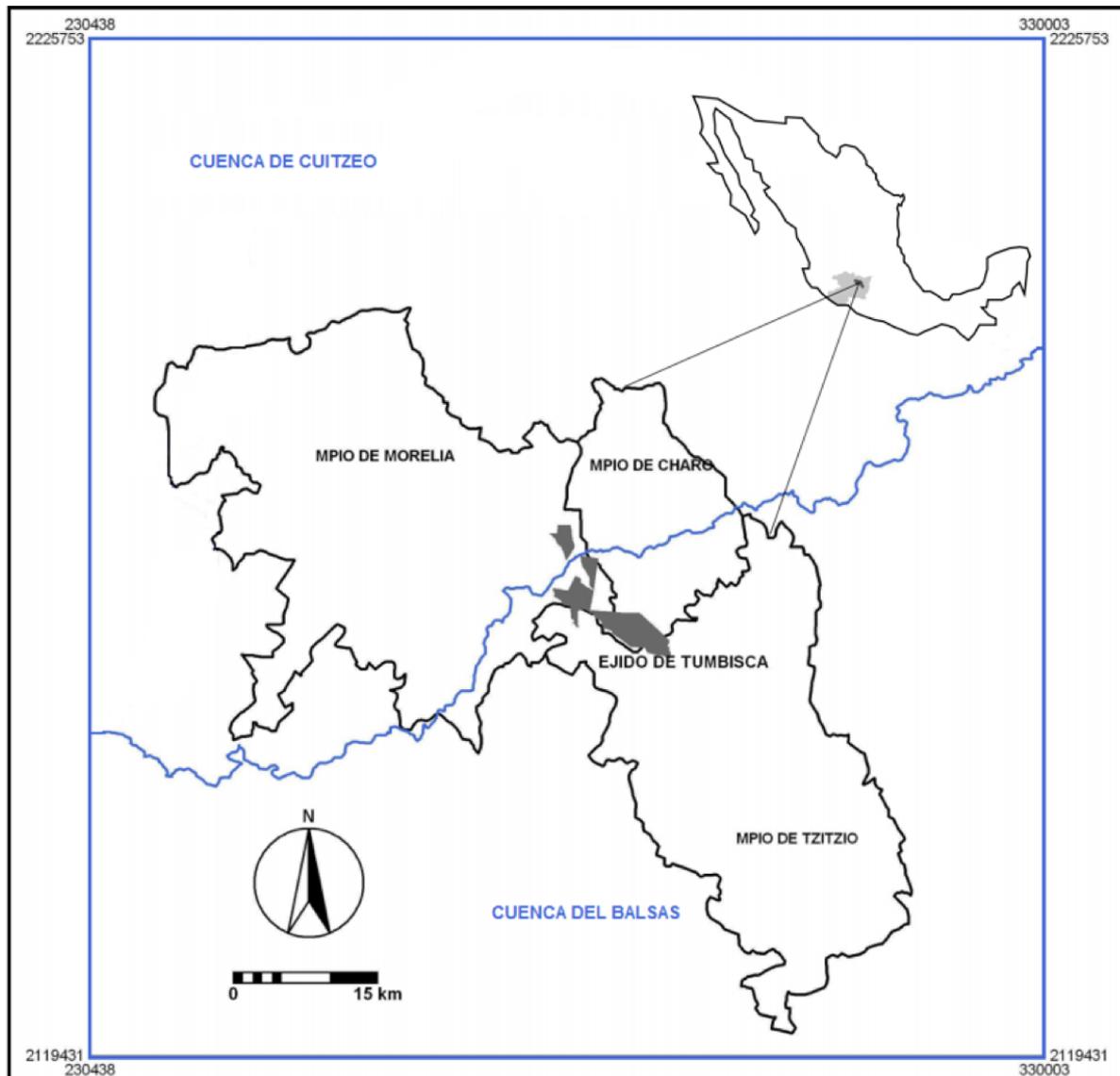
1. Instalar bandas dendrométricas en dos rodales de un bosque comunitario (esto incluye la construcción y uso de las bandas, así como realizar las mediciones en campo)
2. Estimar tasas de crecimiento. Determinar el impacto de la perturbación (incendio) sobre el crecimiento de los encinos
3. Evaluar qué tan fiable es predecir el crecimiento de los encinos con bandas dendrométricas, sus aplicaciones para uso comunitario y desarrollar recomendaciones para su aplicación.

### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1. Área de estudio**

La presente investigación se realizó en bosques de una comunidad ejidal llamada Tumbisca (19°35'05.9"N, 101°04'56.1"O), localizada al sureste del municipio de Morelia, Michoacán (Figura 2). Su territorio posee una superficie cercana a las 3,900 ha distribuidas entre tres municipios: los municipios de Morelia (42.59%), Charo (39.03%) y Tzitzio (18.38%) (Alvarado et al., 2008) (Figura 2). Visto desde la perspectiva de cuencas, Tumbisca se distribuye en dos de las más importantes del país, la cuenca del Balsas y la cuenca del lago de Cuitzeo (Suárez, 2013), esta última con gran presencia de explotación de encino para la elaboración de carbón vegetal (Pérez-Volkow, 2018). Además de su cercanía con la Ciudad de Morelia y los vínculos existentes entre la comunidad y la UNAM, se ha escogido a Tumbisca por contar con

una gran presencia de encinos dentro de su territorio y la presencia de un Plan de Ordenamiento Territorial elaborado para el ejido.



**Figura 2.** Mapa del ejido de Tumbisca, y las regiones y cuencas que abarca. Modificado de: Suárez Reyes, C. (2013). Empoderamiento y reapropiación del territorio para el manejo de recursos naturales: un análisis geográfico para la planeación del uso del suelo (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

Dentro de Tumbisca, los bosques de *Quercus* abarcan una superficie de 896 ha, que comprende el 23.1% del territorio ejidal, aunque las coberturas cerradas únicamente se presentan en 254 ha. Las especies más comunes son: *Quercus deserticola*, *Q. crassifolia*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata*, algunas de ellas asociadas con pinos (bosques de pino-encino y encino-pino) (Figura 3) (Suárez, 2013).

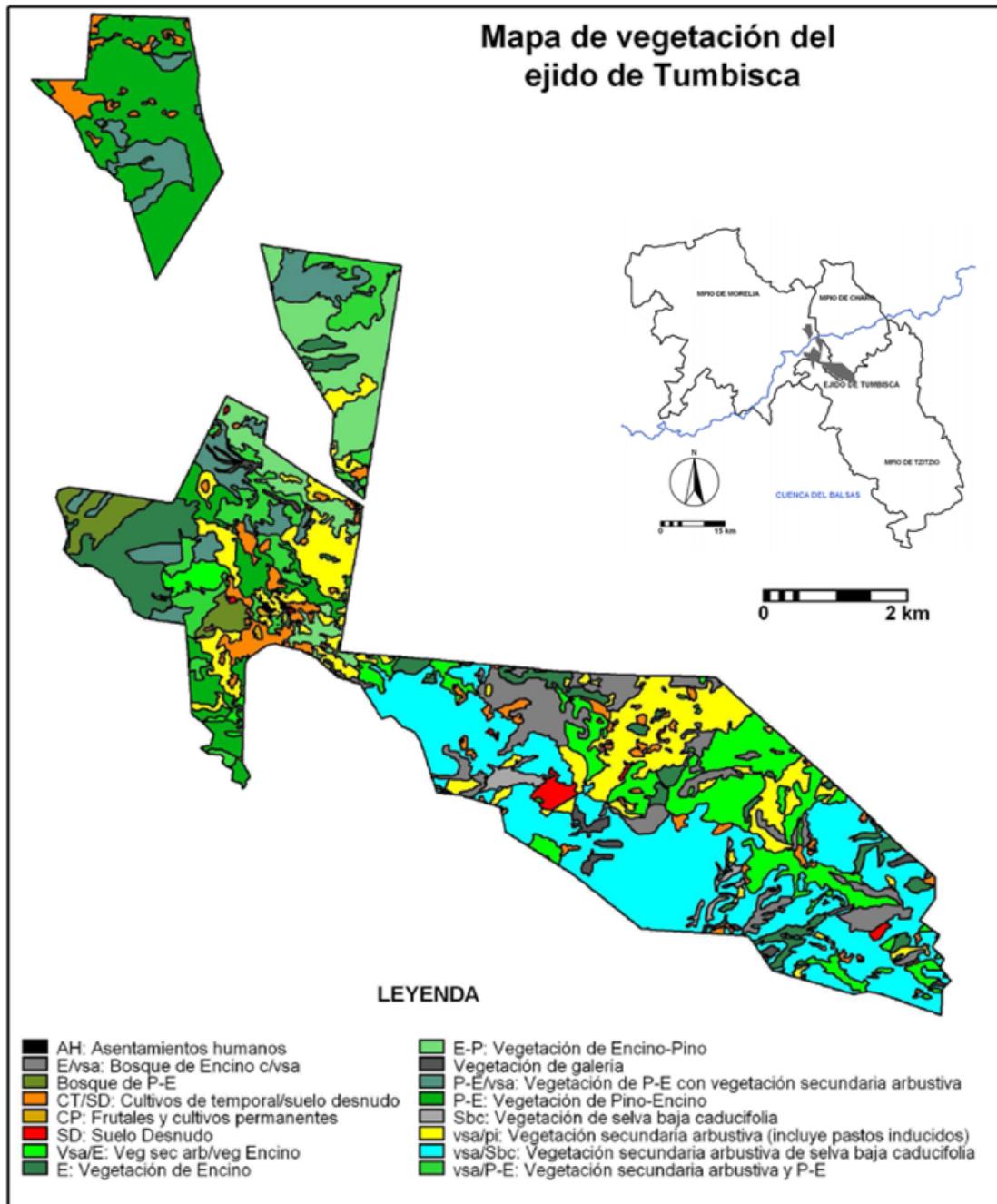


Figura 3. Mapa de vegetación y cobertura del ejido de Tumbisca. Modificado de: Suárez Reyes.

#### 4.2. Descripción de la especie de estudio

*Quercus magnoliifolia* Née, es comúnmente conocida como encino amarillo, encino avellano, encino blanco, encino prieto y roble, principalmente (Arizaga et al., 2009). Su tamaño varía entre los 5 y 25 m de altura y de 15 a 60 cm de diámetro en tronco. La textura de su corteza es agrietada y tiene un color café que varía en tonalidad de

individuo a individuo. Sus hojas son obovadas y varían de 7.5 a 23 cm de largo y de 3.5 a 13 cm de ancho; con un margen dentado de 12 a 17 dientes en cada lado (17mm); su haz es verde lustroso y casi glabro, su envés es verde pálido tomentoso (Figura 4). Anualmente de julio a agosto producen una bellota ovoide de 17 a 21 mm de largo por 11 a 12 mm de diámetro.

*Q. magnoliifolia* se distribuye principalmente en los estados de Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa y Zacatecas; aunque su distribución también alcanza sitios en Centroamérica (Arizaga, 2009). Se encuentra en hábitat de encino, pino-encino/encino-pino y bosque tropical caducifolio, principalmente en barrancas y suelos pedregosos localizados entre los 600 y 2,800 msnm. En términos de su estado de conservación, no está amenazado.



Figura 4. *Quercus magnoliifolia* Née. Fotos: Dr. Ernesto V. Vega Peña (IIES, UNAM).

### 4.3. Descripción del estudio

En el ejido de Tumbisca se localizó una zona con abundancia de *Q. magnoliifolia* Née y en ella se seleccionaron dos predios. Dichos predios se encuentran casi juntos y tan solo los divide una carretera. Para llevar a cabo el estudio en estos predios de la comunidad se obtuvo un permiso por parte del comisario ejidal, además de que se

había informado a la población sobre el trabajo, para evitar algún malentendido o problemas con los árboles y las bandas. En ninguna de las actividades del estudio participaron los miembros de la comunidad.

En cada uno de los predios se seleccionaron 35 individuos, lo que dio un total de 70 bandas instaladas en individuos de *Q. magnoliifolia*. Siguiendo la propuesta descrita por Hall (1944), Cattelino et al. (1986), Keeland & Sharitz (1993), y Anemaet & Middleton (2013) a los individuos se les instalaron bandas dendrométricas (construidas en el lugar) a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo (Perímetro a la Altura del Pecho, PAP) para tomarles lecturas (aproximadamente) trimestrales de su crecimiento perimetral desde principios de enero de 2014 hasta finales de agosto de 2015. La información obtenida en campo se procesó con el programa Microsoft Excel para integrar la base de datos. El proceso metodológico fue dividido en cinco etapas: 1) preparación para la instalación, 2) construcción de las bandas, 3) instalación de las bandas, 4) medición del crecimiento y 5) análisis de los datos. Cada etapa, a su vez, se divide en varios pasos internos.

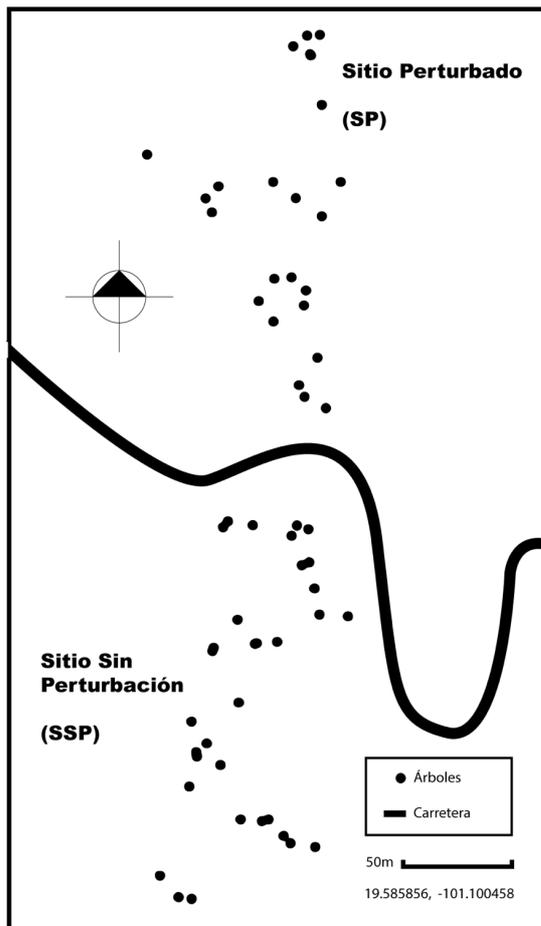
Los materiales utilizados durante el proceso de preparación, construcción e instalación de las bandas fueron: fleje de acero inoxidable  $\frac{3}{4}$ " calibre 26 (un rollo de 30.5m costó aproximadamente \$800 mxn), escofina (\$80 mxn), tijeras resistentes (\$100 mxn), pinzas de punta fina (\$100 mxn), punzón de acero (\$60 mxn), martillo (\$150 mxn), resortes de extensión de acero inoxidable con gancho en extremos - 1 mm de diámetro x 15 mm de diámetro interno x 30 mm de longitud de extensión (Caja con 72 pzas - \$360 mxn), cinta métrica (\$100 mxn), cubo o tabla de madera (\$20 mxn) (la cual sirvió como base para recargar la cinta cuando se perfora con el punzón y martillo), 2 verniers digitales (\$1000 mxn). El costo total para la construcción de 70 bandas fue de \$2470 mxn. Las cintas y resortes de extensión estaban hechos de materiales de acero inoxidable no corrosivos (Anemaet y Middleton, 2013). La cinta se pidió a un proveedor nacional. El resto de los materiales se compró con un distribuidor ferretero.

#### **4.3.1. Preparación para la Instalación de Bandas Dendrométricas**

Antes de construir e instalar una banda dendrométrica se eligieron y prepararon los árboles a los cuales se les instalaron las bandas. Como primer paso, se realizó una

selección de 70 árboles de *Q. magnoliifolia* de apariencias sanas, de fustes rectos, concéntricos y con PAP semejantes. Como se mencionó anteriormente, 35 de los árboles se encontraban dentro del predio A, al cual posteriormente se denominó como “sitio sin perturbación (SSP)” debido a que, durante el tiempo de estudio, no tuvo algún tipo de perturbación visible. Los otros 35 árboles fueron seleccionados en el predio B al cual se denominó como “Sitio Perturbado (SP)” debido a la ocurrencia de un incendio a los 13 meses de que las bandas fueran instaladas. El sitio sin perturbación (SSP) se encuentra en la parte baja de la ladera, mientras que el sitio perturbado (SP) se encuentra en la parte alta (Figura 5).

A cada árbol de cada sitio se le designó un número del 1 al 35 según su cercanía al acceso principal del sitio, es decir, el árbol más cercano a la carretera era el número 1 y el más alejado el número 35 para ambas parcelas. Después del incendio, algunos árboles presentaron quemaduras muy superficiales y ligeras en la corteza, pero el fuego no causó daños visibles, deformaciones, ni daños en el funcionamiento de las bandas dendrométricas. Con el transcurso del tiempo, varios árboles y bandas sufrieron algún daño de apariencia antropogénica (hubo 7 árboles derrumbados y 5 bandas extraviadas). Consecuentemente, al final del estudio solo se obtuvo un registro completo del crecimiento perimetral de 58 individuos (24 del SP y 34 del SSP). La instalación de las bandas en los 70 árboles se hizo entre 5 personas y la actividad duró 4 horas a partir de la llegada al lugar.



**Figura 5.** Croquis de los árboles estudiados y distribuidos en sitio perturbado (SP) y sitio sin perturbación (SSP) . Elaboración propia.

El segundo paso fue la preparación de la superficie en donde se instaló la banda. Para ello, se examinaron las superficies de los troncos correspondientes a 1.30 m (PAP) de cada uno de los individuos con el fin de verificar que estuvieran libre de obstrucciones como ramas, nudos o algún tipo de deformación. Con la finalidad de eliminar cualquier imperfección que impidiera el funcionamiento correcto de las bandas, fue necesario perfilar la superficie utilizando una escofina, una herramienta que ayudó a eliminar ligeramente la corteza o madera excedente de la superficie. A diferencia del uso de limas, la escofina permite rebajar con más rapidez las imperfecciones de la corteza.

La longitud de una banda es altamente dependiente de la circunferencia de cada individuo a estudiar. Por esta razón, después de verificar la zona y eliminar las imperfecciones se prosiguió al tercer paso, medir el perímetro de cada árbol utilizando una cinta métrica. Con los datos perimetricos obtenidos de esta etapa se realizó una

primera base de datos en donde se anotó el PAP inicial de cada uno de los árboles de cada sitio.

#### **4.3.2. Construcción de Bandas Dendrométricas**

Como primer paso para la construcción de las bandas dendrométricas, a cada dato de PAP obtenido, se le añadieron 10 cm más de longitud. Con base en esta medida final se cortaron 70 cintas de acero inoxidable del largo correspondiente a cada árbol (PAP+10cm). Por ejemplo, si el PAP de un árbol era de 20 cm más los 10 cm de excedente, la banda debía medir 30 cm de longitud. Este excedente permitió que hubiera suficiente banda para el crecimiento de los árboles durante el tiempo de registro. Después de cortar las bandas, se cortaron 70 piezas más de acero inoxidable de 5.5 cm cada una. Estas piezas pequeñas sirvieron para formar después un collar/hebilla.

En el segundo paso se tomaron cada una de las bandas largas y con ayuda de las pinzas se les hizo un dobléz de aproximadamente 2.5 cm a uno de los extremos de las cintas de acero.

Como tercer paso, se volvieron a retomar las piezas pequeñas de 5.5 cm y se les hizo un dobléz de 1.5 cm a cada uno de los extremos, de modo que el centro midiera 2.5 cm de longitud (fue muy importante dejar 2.5 cm en el centro). Los dos extremos se llevaron hacia el centro con ayuda de unas pinzas de modo que se formó un pequeño collar.

Para el cuarto paso se tomó el cubo de madera y encima se le colocó el extremo de la banda que no tenía el dobléz, se prosiguió a perforar este extremo de la banda. Para ello, se colocó la punta del punzón de acero en un área centrada al ancho de la banda (posicionada a unos 3 o 4 mm antes del extremo sin dobléz) y se golpeó con el martillo para perforar.

Como quinto paso se introdujo el collar pequeño en el dobléz de la banda, de modo que los dobleces del collar quedarán en la parte interna del dobléz de la banda.

En el sexto paso se introdujo el extremo perforado de la banda dentro del extremo que portaba el collar. Este último paso sirvió únicamente para comprobar que el extremo perforado embonara perfectamente en el collar.

Fue importante ubicar siempre a qué árbol le pertenecía cada banda, así que desde un inicio se separaron las bandas según el sitio al que pertenecían y con ayuda del punzón se grabó el número del árbol correspondiente en la parte frontal de cada uno de los pequeños collares, una vez que estos se instalaron dentro del doblez de la banda. Con el material listo y a la mano, se necesitaron aproximadamente 10 horas para terminar las 70 bandas entre dos personas.

### **4.3.3. Instalación de Bandas Dendrométricas**

En el primer paso, se situó a cada banda cerca del PAP de su árbol correspondiente, y al igual que en el sexto paso de la etapa anterior, se llevó al extremo perforado de la banda dentro del collar de modo que la banda dendrométrica abrazó por completo el tronco del árbol.

Como segundo paso, se tomó al resorte y se colocó uno de los extremos en forma de gancho dentro de la perforación en el extremo de la banda. Mientras se sujetó fuertemente el otro extremo del resorte, se colocó la punta del pinzón en el área más cercana a dicha punta del resorte y con ayuda del martillo, se realizó una perforación (para enganchar el otro extremo del resorte), de modo que quedará centrada al ancho de la banda y situada en un área en la que el resorte quedará bien sujetado y la banda sometida totalmente al PAP del árbol.

Finalmente, con ayuda del pinzón se realizó una línea recta bien marcada, paralela y pegada exactamente al contorno del pequeño collar, de modo que quedara en el área entre el inicio del collar y el extremo perforado donde se colocó el resorte. Esta marca representó al tiempo cero ( $t_0$ ) del experimento y permitió medir la diferencia o intervalo existente entre  $t_0$  y los distintos tiempos de lectura. Con esta información recabada fue posible establecer las tasas de crecimiento de cada árbol.

Las bandas dendrométricas fueron construidas e instaladas por un equipo en el que participaron el Dr. Ernesto Vega y tres estudiantes de licenciatura y posgrado. Fue una actividad sencilla, que no requirió un conocimiento previo, tan solo interpretar y seguir las instrucciones de Anemaet & Middleton (2013). Esta actividad puede ser repetida fácilmente por cualquier persona teniendo un simple folleto-instructivo y/o una sencilla capacitación previa. Es necesario tener disponibles todos los materiales a la mano. La construcción se realizó previamente a la salida a campo, se requirieron entre ocho y diez minutos para hacer una banda dendrométrica. Para la preparación del sitio, la colocación de las bandas y el registro del PAP se llevaron aproximadamente cinco horas en el bosque.

#### **4.3.4. Monitoreo del Crecimiento**

Como se mencionó anteriormente, después de la instalación se le hizo una marca a la banda para registrar el tiempo inicial o tiempo cero ( $t_0$ ). El monitoreo del crecimiento se llevó a cabo al medir con un vernier digital la distancia que se había generado entre la marca ( $t_0$ ) y el inicio del collar/hebilla de la banda. El crecimiento en la circunferencia se pudo medir directamente a los 0,25 mm más próximos. Las mediciones se llevaron aproximadamente cada tres meses desde principios de enero de 2014 hasta finales de agosto de 2015. Las mediciones fueron realizadas entre dos personas. Cada medición requirió aproximadamente de tres minutos y se registró en una libreta de campo.

#### **4.3.5. Análisis Estadísticos**

Con el fin de organizar los datos para después analizarlos, se conformaron las bases de datos con toda la información obtenida en campo en una matriz en el Software Microsoft Excel (2015). Dicha matriz reunió todos los PAP iniciales de los distintos individuos de ambos sitios, así como los diversos tiempos de medición basados en las bandas dendrométricas y su correspondiente medición de incremento.

En esta etapa de la investigación se realizaron todos los análisis estadísticos a través del Software R (R Core Team, 2014) con los datos recabados en la matriz de Excel. Con el fin de comparar las medias de los dos grupos de datos y establecer conclusiones en torno a una posible existencia de relación entre las variables en la población origen de las muestras, se realizaron pruebas de T y análisis de varianza. El objetivo de estos procedimientos fue determinar si existe o no crecimiento e identificar si ese crecimiento fue igual en ambos sitios o no.

La prueba de T de Student para muestras independientes sirve para comparar las medias de dos muestras con características de independencia, normalidad y homocedasticidad (Bernal, 2013). Considerando que se tienen datos de dos tratamientos distintos de *Q. magnoliifolia*: sitio sin perturbación y sitio perturbado; se llevó a cabo una comparación de su incremento perimetral en el tiempo inicial y final, esta prueba posibilitó su comparación desde una perspectiva inferencial (I Cusialls, 2000). Al comparar las medias de los tamaños iniciales, la prueba de T de Student permite saber si dichos tamaños difieren o no entre los dos sitios, es decir, si existen diferencias significativas entre los tamaños iniciales de los árboles en los distintos sitios.

Para comparar los tamaños iniciales y finales de los árboles pertenecientes a cada uno de los sitios, se utilizó la prueba de t pareada. A diferencia de la prueba anterior, esta prueba sirve para muestras dependientes que no necesariamente tienen varianzas iguales (Szklo & Nieto, 2003). Con la prueba de t pareada se calculó la diferencia existente en el mismo árbol, comparando entre las lecturas, determinando si se detectaron cambios en el incremento y si dichos cambios fueron significativos.

Para calcular las tasas de crecimiento se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Tasa Anual de Incremento Perimetral:

$$C.P. = \left( \frac{P_{final} - P_{inicial}}{P_{inicial}} \right) * 100$$

C.P.: Crecimiento Perimetral

El perímetro final fue el calculado en la última medición (560 días después de la medición inicial).

- Tasa de crecimiento anual (C.anual) (obtenida mediante despeje simple o “regla de tres”):

$$C. \text{ anual} = \frac{CP * 365}{560}$$

El Análisis de Covarianza (ANCOVA) permite evaluar la influencia de dos variables (una categórica y otra continua) sobre la variable de respuesta (Kleinbaum et al., 1978). Con este caso, se aplicó el ANCOVA para probar el efecto de la tasa de crecimiento anual (variable de respuesta) por la influencia del sitio (variable categórica) y del tamaño inicial del árbol (variable continua). Se realizó una revisión de los residuales para evaluar la idoneidad del modelo.

El Análisis de Varianza (ANOVA) de medidas repetidas sirve para analizar diseños experimentales en los que las mediciones de la variable de respuesta se realizan siempre sobre los mismos sujetos, pero varias veces a lo largo del tiempo (Arnau-Gras, 2007). Esta característica del muestreo hace que las mediciones no sean independientes entre sí, por lo que no se pueden usar anovas factoriales (Urdan, 2011). En este estudio se analizó si la tasa de crecimiento anual (variable de respuesta) es influenciada por el sitio (Perturbado y Sin Perturbación), el sujeto de medición (árbol) y la fecha de medición (6 mediciones aproximadamente cada tres meses, realizadas entre el 12 de enero de 2014 al 22 de agosto de 2015).

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Funcionamiento de las bandas**

Las bandas dendrométricas fueron un instrumento fácil de construir con la utilización de materiales resistentes que se consiguieron rápidamente en ferreterías y con proveedores locales. El costo promedio de una banda fue de 35 a 40 pesos mexicanos y el proceso de construcción requirió de dos personas y de un promedio de 10 minutos por banda. En la instalación participaron cuatro personas y se llevó a cabo en menos de cinco horas. Durante los 585 días de estudio, las bandas funcionaron de manera eficaz al expandirse conforme al crecimiento del árbol, los materiales resistieron a los cambios ambientales e incluso al fuego en el sitio perturbado.

Desde la primera visita se logró observar un cambio milimétrico en la mayoría de los árboles y sus bandas. Conforme pasó el tiempo, las bandas se fueron expandiendo sin problema alguno y se pudo monitorear el crecimiento en la circunferencia de 82.8% de los árboles. Al otro 11.2% de los árboles no se les pudo llevar un registro completo debido a que en algún momento perdieron la banda (una persona quitó la banda del árbol) o fueron derribados (una persona cortó el árbol). Antes de la ocurrencia del incendio, con ayuda de las bandas se registró un crecimiento muy semejante en el diámetro de los árboles en ambos sitios.

## **5.2. Calidad de la información obtenida**

El vaciado de las mediciones periódicas en la base de datos de excel, se realizó inmediatamente después de las salidas a campo. Esta fue una tarea sencilla, que se puede realizar por cualquier persona con un conocimiento básico de excel. El valor más alto que se presentó tras realizar la primera medición de los árboles en el SP fue de 1.17mm, ese mismo árbol presentó un incremento de 46.02mm en la última medición. En cuanto al SSP, el mayor incremento fue de 4.5mm, ese mismo árbol tan solo incrementó a 6.9mm en la última medición. El incremento más grande al final de las mediciones para el SP fue de 47.36 y el mayor para el SSP fue de 28.31 mm.

El procesamiento de los datos en el software R requirió de mayor atención y trabajo. En una comunidad, este es el paso más complicado y en el cual se podría requerir de personas con una capacitación previa o de la guía de un experto que ayude a integrar y analizar la información.

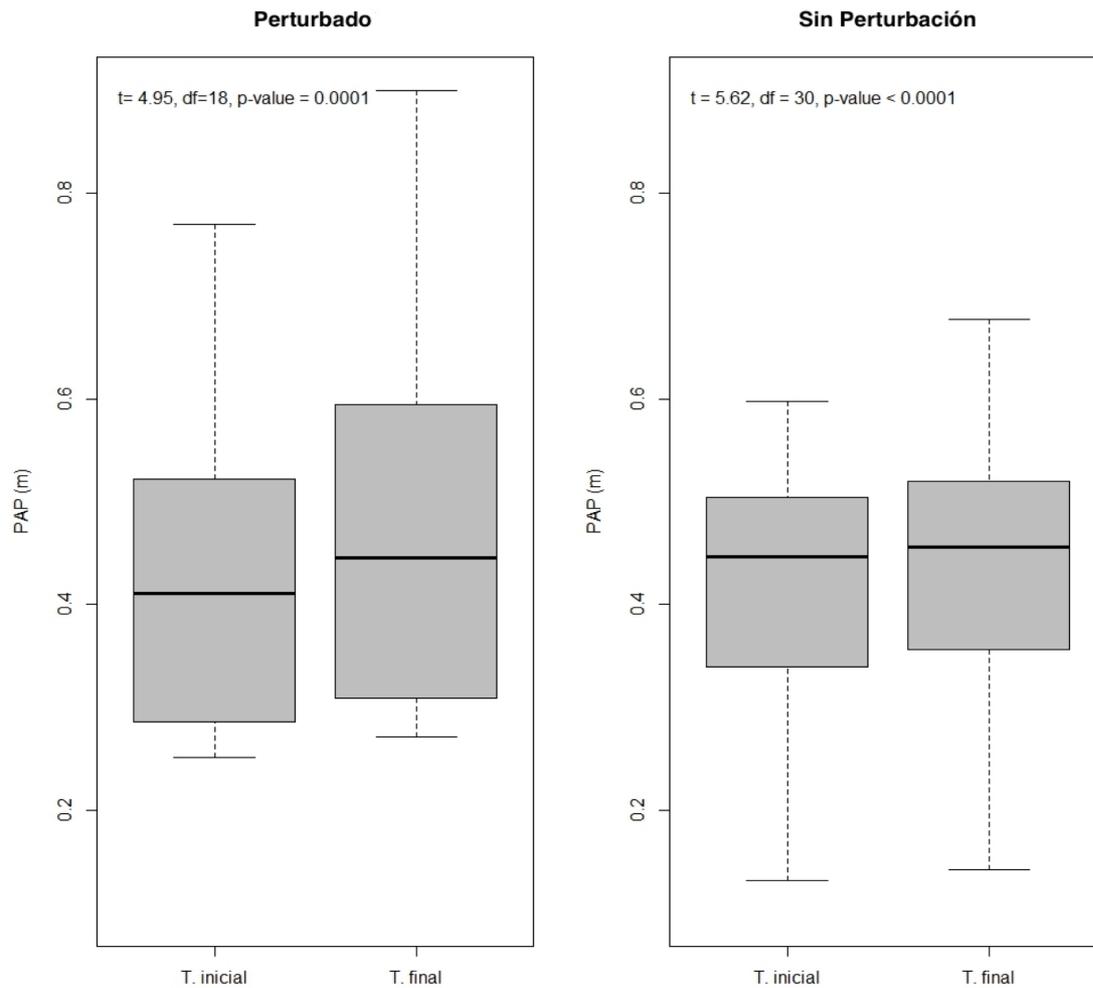
Según los procedimientos realizados en el software R para los perímetros iniciales, se obtuvo que la media del Sitio Sin Perturbación es de 420 mm y la del Sitio Perturbado es de 440 mm. El intervalo de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ) de la diferencia de las medias está ubicado entre -0.07 y 0.1 m; el valor de  $t = 0.43$  con 28 Grados de Libertad y el valor de  $p = 0.67$ . Como el valor de  $p$  es mayor a 0.05 significa que el valor de las medias de los dos grupos en sus perímetros iniciales es estadísticamente semejante y se puede aceptar la hipótesis nula de que los perímetros iniciales en

ambos sitios no son distintos, es decir, los árboles en ambos sitios presentaron un PAP inicial semejante.

Por otra parte, para los perímetros finales, se obtuvo una media para el Sitio Sin Perturbación de 0.44 m y para el Sitio Perturbado de 0.48 m. El intervalo de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ) de la diferencia de las medias está ubicado entre -0.05 y 0.16 m; el valor de  $t = 1$  con 26 grados de libertad y el valor de  $p = 0.3$ . Ya que el valor de la probabilidad es mayor al valor del coeficiente de confianza (0.05) se concluye que estadísticamente ambos no presentan una diferencia significativa, a pesar de que el Sitio Perturbado es 12% más grande en el perímetro final.

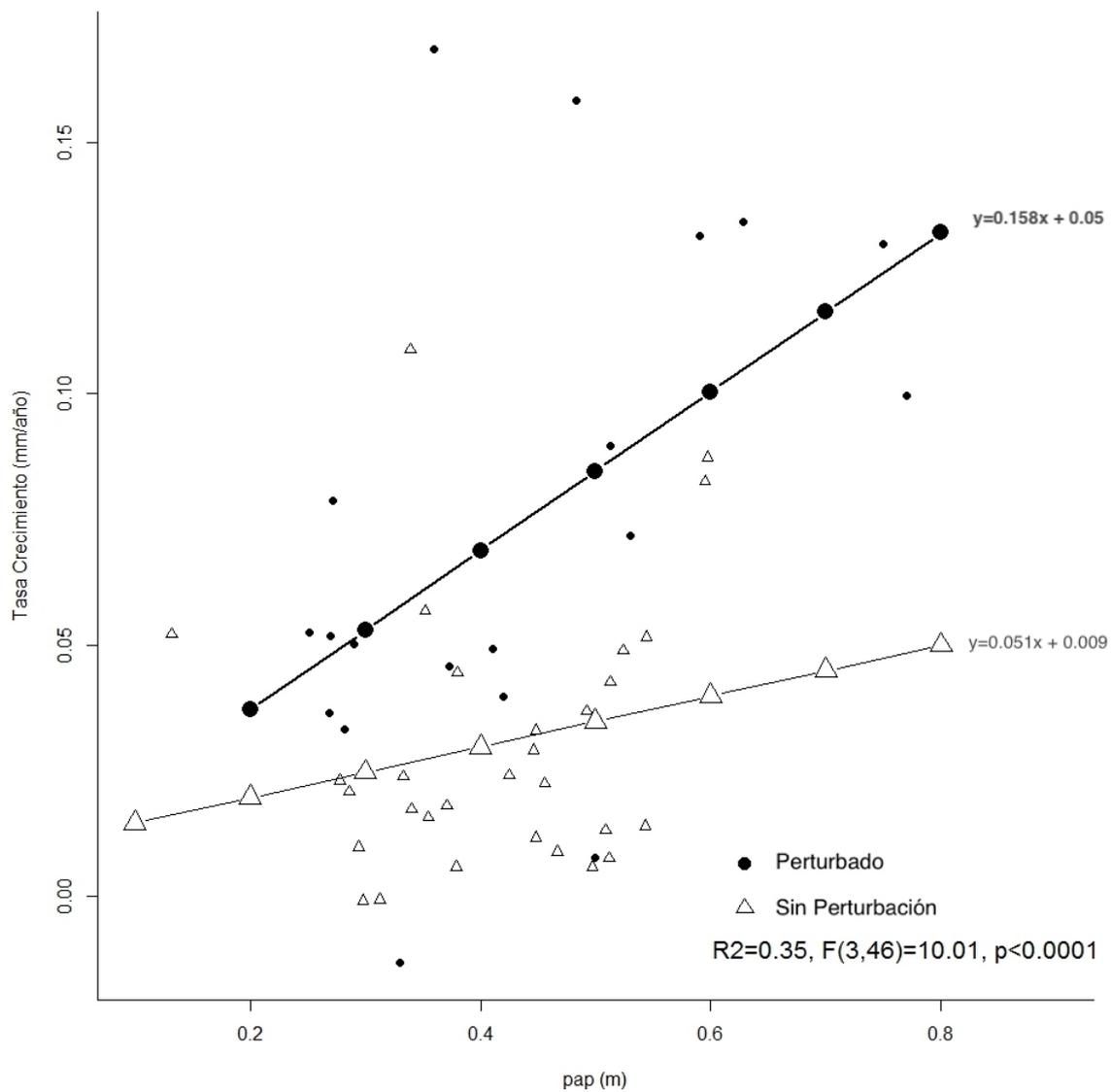
Los árboles presentaron un crecimiento perimetral anual promedio de 0.022 m (Error Estándar= $\pm 0.003$ ). El Crecimiento perimetral anual del Sitio Perturbado es de 0.036 m (EE=0.007) y 0.013 m (EE=0.002) para el Sitio Sin Perturbación. Una prueba no paramétrica de Wilcoxon mostró que las tasas de crecimiento son diferentes en los dos sitios ( $W=437$ ,  $p\text{-value}=0.003$ ).

Para comparar los tamaños iniciales y finales de los árboles en ambos sitios se realizó una Prueba de  $t$  pareada. Utilizando un porcentaje de confianza del 95% (0.05), se puede apreciar un valor de  $t = -4.95$  a 18 grados de libertad, una media de las diferencias de (-0.056) y un valor de  $p = 0.0001$  para el Sitio Perturbado. Por su parte, se obtuvo un valor de  $t = -5.62$  a 30 grados de libertad, una media de las diferencias de (-0.02) y una  $p = 0$  para el sitio. Debido a que las probabilidades de ambos sitios son mucho menores a 0.05, se concluye que sí existe una diferencia significativa en la media de los tamaños iniciales (tiempo 0) y finales (tiempo 6) en cada uno de los sitios, es decir, los árboles crecieron en ambos sitios (Figura 6).



**Figura 6.** Prueba de *t* pareada de los perímetros de *Quercus magnoliifolia* Née en Software R. Fuente: Elaboración propia.

En el Análisis de Covarianza (ANCOVA) (Figura 7; cuadro 2 y 3) se obtuvo una  $r^2=0.35$ , un valor de  $F=10$  y un valor de  $p=3.396e-05$  con un error estándar residual de 46 grados de libertad. Se determinó que tanto el sitio y el PAP afectan a la tasa de crecimiento, pero no la interacción del sitio y el PAP. En la gráfica se pueden apreciar dos líneas de tendencia positivas. La línea de la regresión para el Sitio Perturbado muestra claramente un aumento en la tasa de crecimiento cuando hay un incremento en el PAP. En la línea de la regresión para el Sitio Sin Perturbación se observó que el aumento en las tasas de crecimiento no variaba mucho en función al PAP.



**Figura 7.** Incremento Perimetral Anual (mm/año) de *Quercus magnoliifolia* Née en función del tamaño del individuo y del sitio. Fuente: Elaboración Propia.

**Cuadro 2.** Análisis de Covarianza para el efecto del sitio y el PAP inicial en el crecimiento perimetral de *Quercus magnoliifolia* Née. Fuente: Elaboración propia.

	Df	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr(>F)
<b>Sitio</b>	1	0.02270	0.022701	19.204	6.75e-05
<b>PAP</b>	1	0.01047	0.010474	8.861	0.00463

<b>Sitio:PAP</b>	1	0.00234	0.002338	1.978	0.16633
<b>Residuales</b>	46	0.05437	0.001182		

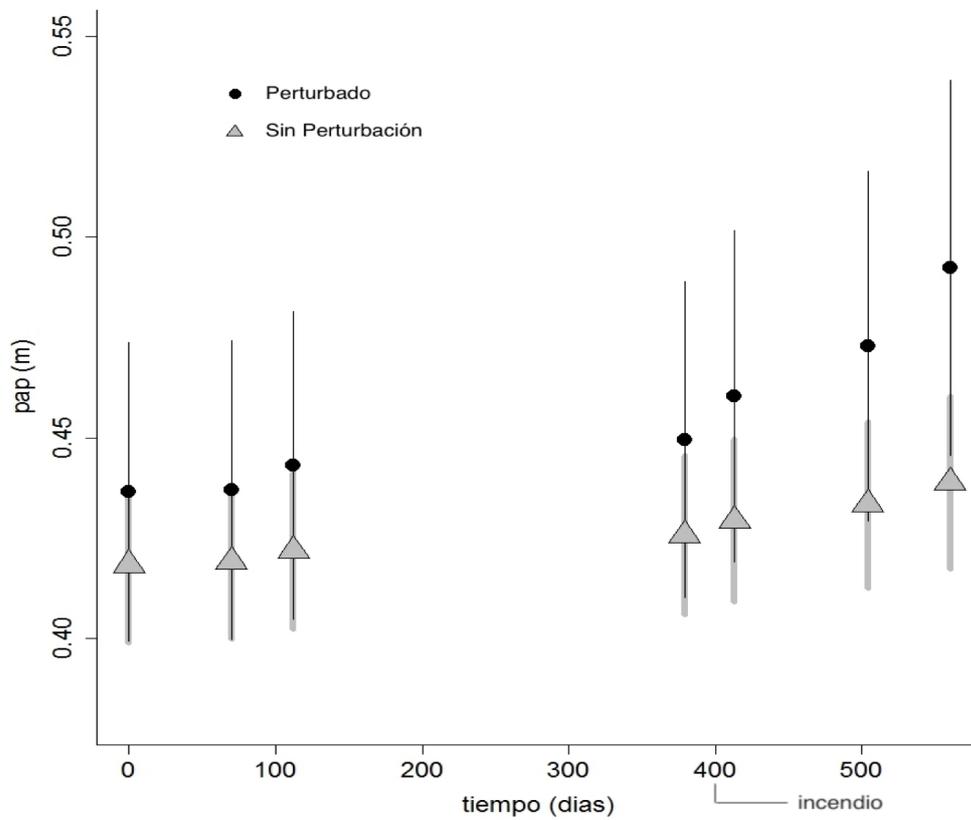
**Cuadro 3.** Efecto del sitio y el PAP inicial en el crecimiento perimetral de *Quercus magnoliifolia* Née. Fuente: Elaboración Propia

	<b>Estimación</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Valor de T</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
<b>(Intercept)</b>	0.005	0.023	0.234	0.816
<b>Sitio Sin Pert</b>	0.004	0.341	0.118	0.906
<b>PAP</b>	0.158	0.049	3.175	0.002 (0.01)
<b>Sitio Sin P:PAP</b>	-0.107	0.076	-1.406	0.166

El efecto del sitio y el tiempo en el crecimiento fue evaluado a partir de una ANOVA de Medidas Repetidas. Las medias de los Perímetros a la Altura del Pecho (PAP) en ambos sitios oscilaron entre 0.40m y 0.50m a lo largo de los 585 días de medición, siendo ligeramente mayores las del sitio Perturbado. En las primeras mediciones, los perímetros presentaron un crecimiento positivo y ligeramente distinto en ambos sitios, pero se mantenía un crecimiento semejante, pero a partir de los 400 días se pudo percibir un crecimiento atípico en árboles del Sitio Perturbado (Figura 8). En el Cuadro 4 de Anova de Medidas Repetidas para evaluar el efecto del sitio y el tiempo en el crecimiento, se puede apreciar que el tiempo de medición fue significativo, por el contrario, ni el sitio ni la interacción entre ambos fueron significativos.

**Cuadro 4.** ANOVA de Medidas Repetidas para evaluar el efecto del sitio y el tiempo en el crecimiento. Fuente: Elaboración propia.

	Df	Suma de Cuadrados	Error Suma Cuadrados	Den Df	Valor de F	Pr(>F)
<b>(Intercepción)</b>	1	67.068	6.562	48	490.5716	< 2.2e-16
<b>Sitio</b>	1	0.071	6.562	48	0.5194	0.4746
<b>Tiempo</b>	6	0.048	0.049	288	46.4576	< 2.2e-16
<b>Sitio:Tiempo</b>	6	0.012	0.049	288	11.9926	5.046e-12



**Figura 8.** Perímetro a la Altura del Pecho (m) de *Quercus* en ambos sitios en función del tiempo (días). Las líneas muestran el ES. Fuente: Elaboración propia.

## 6. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo el objetivo de monitorear el incremento en la circunferencia de árboles de *Q. magnoliifolia* a través de bandas dendrométricas, y evaluar la factibilidad de esta herramienta como un instrumento preciso, económico, sencillo de construir y de fácil operatividad (Hall, 1944; Liming, 1957; Worbes et al., 1995; López-ayala et al., 2006; Galán, 2007; Manzano-Méndez, 2010; Anemaet & Middleton, 2013), lo que lo hace factible para su utilización en comunidades, donde el recurso económico es uno de sus principal limitantes (Sabogal et al., 2008). Se analizó la dinámica temporal del crecimiento como función del PAP y del sitio.

Aparentemente, el crecimiento de los árboles parecería ir de la par en ambos sitios, pero es probable que el incendio haya incentivado un incremento mayor en los árboles del sitio perturbado. Desde una perspectiva ecológica, cuando un factor externo natural o antropogénico realiza un cambio en el sistema de un organismo vegetal o ecosistema, se le denomina "disturbio" o "perturbación" (Zavala, 2000). Por el contrario, el otro sitio de estudio se mantuvo intacto y sin ningún tipo de disturbio antropogénico, llamándole después "Sitio Perturbado". Al inicio de las mediciones y antes de que sucediera el incendio, la diferencia de la media de los árboles en ambos sitios tan solo fue de 0.02 m. La prueba de *t* permitió conocer que efectivamente, la diferencia del PAP entre los individuos de ambos sitios fue prácticamente insignificante. Esto puede ser debido a que los sitios de muestreo se encuentran muy cerca, tan solo se encuentran separados por la carretera, lo cual refleja que los individuos hasta cierto punto han crecido dentro de condiciones muy homogéneas. En su estudio Gutiérrez et al. (2011), presentan dos parcelas una localizada más al norte que la otra, ambas con la misma especie de estudio y tampoco muestran diferencias significativas al inicio de las mediciones ( $F= 0.05$ ,  $p= 0.83$ ).

En el caso del presente estudio, las mediciones finales de los PAP muestran que los individuos del sitio perturbado son 12% más anchos que los del sitio sin perturbación. Las condiciones ambientales en ambos sitios parecen ser muy homogéneas a simple vista por su gran cercanía. ¿A caso la presencia del incendio es la responsable de dicha diferencia en el crecimiento? Para responder a esta interrogante se necesita estudiar profundamente la dinámica del fuego en estos bosques, pero también cómo

afectan las condiciones biológicas, físicas y químicas del ambiente al crecimiento de *Quercus magnoliifolia* Née. A pesar de que el fuego puede exterminar a la biota de un sitio, también puede inducir cambios en el ambiente que sean benéficos para otras especies, en especial cuando el incendio es de baja o moderada intensidad (Zavala, 2000). También hay muchas especies que han desarrollado adaptaciones a fuegos frecuentes, algunas presentan una corteza gruesa que les permite aislar a los tejidos vivos del calor del fuego (Zavala, 2000), tal es el caso de *Q. magnoliifolia*. Peña & Bonfíl (2003) mostraron que individuos de *Q. magnoliifolia* con un DAP mayor a los 13 cm pudieron soportar el impacto de los incendios. Trabaud (1994) propone que el fuego funge un papel muy importante en los ciclos biogeoquímicos, ya que después del incendio, nutrientes como nitrógeno y fósforo quedan liberados y disponibles para fertilizar el sistema o bien se volatilizan y se pierden. Otros de los efectos benéficos consecuentes a un incendio es que se reduce la competencia interespecífica (Johnson et al., 2002). Por un lado, el incendio puede destruir las semillas enterradas en el suelo (Johnson et al., 2002), de igual manera, puede reducir la competencia con algunas plantas y arbustos por nutrientes y agua (Johnson et al., 2002; Peña & Bonfíl, 2003). Por otro lado, el dosel de los árboles y la densidad del sotobosque se reducen al ser quemados, permitiendo una mayor disponibilidad de luz que impulse las oportunidades para fotosíntesis y generación de nueva biomasa (Johnson et al., 2002; Peña y Bonfíl, 2003).

Durante los 585 días de mediciones, los árboles en ambos sitios aumentaron entre 0.02 mm y 0.04 mm. Existe una diferencia significativa en la media de los tamaños iniciales respecto a los finales en ambos sitios, lo que quiere decir que a través del tiempo los árboles crecieron en ambos sitios. La obtención de dichos datos es una prueba de que el monitoreo a través de las bandas dendrométricas ha funcionado correctamente y permite tener datos de crecimiento suficientes y confiables. Por su parte, las tasas de crecimiento variaron en función del sitio y del tamaño inicial. El hecho de que el SP presentara una tasa de crecimiento (mm/año) mayor a la del SSP significa que hubo un evento en el Sitio Perturbado, que hizo que los árboles crecieran a una tasa mayor, esto puede ser causa del disturbio: incendio. El cuadro 5 muestra una comparación de distintas especies de *Quercus* de distintos lugares del mundo y las distintas tasas de crecimiento en mm/año que presentan. Dichos estudios se realizaron en bosques sin algún tipo de manejo forestal ni antecedente de incendios,

el hecho de que *Q. magnoliifolia* haya presentado un incremento mayor que los reportados en la literatura, probablemente sea por la especie, por el tipo de suelo, el régimen de lluvias, la altitud, o incluso por la presencia del incendio.

**Cuadro 5.** Tasa de Crecimiento anual de ocho distintas especies de *Quercus* en cinco partes del mundo.  
Fuente: Elaboración propia.

Especie	Tasa de Crecimiento (mm/año)	Lugar de Estudio	Tipo de Vegetación	Referencia
<i>Q. magnoliifolia</i> <i>Née</i>	22.15	Tumbisca, México	Bosque de coníferas y latifoliadas	Presente estudio
<i>Q. petraea</i>	12.19	Fontainebleau, Francia	Bosque de coníferas y latifoliadas	(Michelot et al., 2012)
<i>Q. ilex L.</i>	2.94	Garraf, España	Bosque de latifoliadas	(Gutiérrez et al., 2011)
<i>Q. ilex L.</i>	0.83	Sierra de Prades, España	Bosque de latifoliadas	(Farguell et al., 1994)
<i>Q. acutifolia</i>	19.33	Xalapa, México	Bosque mesófilo de montaña	(Williams, 1996)
<i>Q. germana</i>	1.66	Xalapa, México	Bosque mesófilo de montaña	(Williams, 1996)
<i>Q. insignis</i>	3.92	Xalapa, México	Bosque mesófilo de montaña	(Williams, 1996)

<i>Q. leiophylla</i>	6.64	Xalapa, México	Bosque mesófilo de montaña	(Williams, 1996)
<i>Q. Xalapensis</i>	6.22	Xalapa, México	Bosque mesófilo de montaña	(Williams, 1996)

El monitoreo del incremento en la circunferencia de los árboles permitió observar el momento en que los árboles del sitio perturbado comenzaron a presentar un mayor incremento en su PAP posiblemente a causa de un incendio. Como se puede apreciar, el marco metodológico de la presente investigación fue fiel a la investigación epidométrica de *Q. magnoliifolia* aún con la presencia inesperada del disturbio. Esta investigación ha sido pionera en la investigación del crecimiento de encinos en bosques comunitarios en México, abriendo nuevas brechas, nuevas interrogantes y nuevas posibilidades en el estudio tanto de *Q. magnoliifolia*, como de otras especies de *Quercus* y de especies de importancia forestal en las comunidades.

Al inicio de este trabajo se mencionaron dos cosas: la importancia de la participación de los actores en investigación comunitaria y la importancia que tiene tanto el conocimiento científico como el conocimiento local al hacer investigación ambiental. Para realizar este estudio, se obtuvo el permiso y la asignación de los sitios por parte de la comunidad, pero no se logró la inclusión de miembros de la comunidad durante la el monitoreo de los árboles. Esta fue una de las limitantes más fuertes del trabajo, si bien, las bandas dendrométricas presentan ventajas sobre otros métodos de monitoreo forestal, la información obtenida fue en base a una experiencia desde la academia y se desconoce la forma en que pueden trabajar las personas de la comunidad con las bandas dendrométricas y el manejo de los datos.

Existen algunos conocimientos y prácticas locales dentro de las comunidades que pueden afectar de manera positiva o negativa en la investigación. La desaparición de bandas y el derribe de árboles dentro de las parcelas de estudio es una muestra de la falta de vinculación entre la comunidad y la investigación, está acción a su vez repercutió de manera negativa al perder parte de la muestra de estudio. Cuando este

tipo de sucesos ocurren, se pierden recursos económicos, humanos y tiempo, poniendo en riesgo a la investigación en su totalidad. El incendio es otro ejemplo de la falta de vinculación, este disturbio que pudo ser antropogénico, tal vez no afectó de manera positiva o negativa a la investigación, pero influyó totalmente en los resultados del experimento y permitió obtener conclusiones muy interesantes como que promovió el crecimiento en los encinos, contrario a lo que la mayoría de la gente cree.

Este trabajo contribuye tan solo con una parte del monitoreo forestal para la creación de planes óptimos de MFC. Aún queda mucho trabajo por hacer, interrogantes por contestar y el reto de hacer una sinergia entre academia y comunidad.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente estudio se comprobó que la metodología basada en bandas dendrométricas permite monitorear de manera constante el incremento en la circunferencia de *Quercus magnoliifolia* Née incluso ante la presencia de disturbios como un incendio forestal de baja a moderada intensidad. La construcción e instalación de las bandas dendrométricas ha sido económica y no ha presentado gran dificultad.

El levantamiento de datos en campo en periodos trimestrales (aproximadamente) y durante un año y medio ha sido una tarea muy sencilla, realizada por personas incluso con muy poco conocimiento previo y de donde se extrajeron los datos principales de campo. A partir de un análisis en el Software R de dichos datos, se han podido estimar las tasas de crecimiento anual de la especie estudiada para dos sitios con historias contrastantes de manejo: un “Sitio Perturbado” por un incendio y un “Sitio Sin Perturbación” antropogénica visible. Se ha encontrado que la tasa de crecimiento anual se ve afectada por el sitio de estudio o por el tamaño el PAP inicial de los árboles, pero no por la interacción de ambas. En la literatura citada se ha encontrado la tolerancia de especies de *Quercus* a los efectos del fuego de baja a moderada intensidad. En este estudio se ha encontrado que *Quercus magnoliifolia* Née no solo

resistió a los efectos del fuego, sino que los árboles en el Sitio Perturbado por el incendio presentaron mayor crecimiento que los del Sitio Sin Perturbación.

El presente constituye una aportación que se agrega a la generación de conocimiento sobre la dinámica del crecimiento en una de las 161 especies de encino que existen en nuestro país, que a diario se ven afectadas por la tala inmoderada y diversos disturbios de origen antropogénico como los incendios o el cambio climático. En consecuencia, es imperativo continuar investigando al género *Quercus* lo que permitiría incrementar el 1.7% actual con el que México contribuye a las publicaciones de dicho género. Lo anterior, considerando la desproporción que existe entre el número de publicaciones en México sobre este género y la importancia que el mismo tiene a nivel mundial.

#### Recomendaciones Importantes:

- Para futuras investigaciones en las que exista un monitoreo del incremento perimetral de los árboles es importante que se estudien otras variables que también inciden en la dinámica del crecimiento, como lo son los regímenes de lluvia, humedad, exposición solar, así como otros factores biogeofísicos.
- Para el estudio completo del bosque también se tienen que realizar complementariamente otros estudios dasométricos que incluyan parámetros como la altura y el volumen.
- Las bandas dendrométricas son instrumentos instalados en un bosque del que no se tiene el control absoluto y cualquier disturbio antropogénico o ambiental puede afectar la investigación. En esta investigación se cortaron árboles, desaparecieron bandas instaladas y además hubo un incendio. Para evitar situaciones de riesgo, se tienen que adoptar medidas importantes como lo es el informar a la comunidad sobre el estudio que se realiza dentro de su territorio, las implicaciones de la investigación y los beneficios que ellos van a obtener. Es de gran importancia la inclusión de la gente en cualquier investigación forestal y ambiental de carácter comunitario.

Cualquier estudio de la dinámica del crecimiento de *Quercus* en México representa un gran avance para el Manejo Forestal Sustentable de estos bosques tan importantes para su economía y su biodiversidad, sobre todo en tiempos de investigación y adaptación al Cambio Climático

## 8. REFERENCIAS

Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y bosques*, 21(SPE), 17-28.

Analytical Software. (1996). *Statistix for windows: user's manual*. Analytical Software.

Anemaet, E. R., & Middleton, B. A. (2013). Dendrometer bands made easy: using modified cable ties to measure incremental growth of trees. *Applications in plant sciences*, 1(9), 1300044.

Alcorn, J. B. (1993). Indigenous peoples & conservation. *Conservation biology*, 7(2), 424-426.

Nájera, A., Pereira, L. F., & Chapas, J. D. (2010). Lineamientos Técnicos de Manejo Forestal Sostenible para los Bosques Pino Encino de Mesoamérica. *Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino–Encino de Mesoamérica*. Guatemala, 44.

Allen, S. T., Krauss, K. W., & Keim, R. F. (2016). Hydrologic effects on diameter growth phenology for *Celtis laevigata* and *Quercus lyrata* in the floodplain of the lower White River, Arkansas. In *In: Proceedings of the 18th biennial southern silvicultural research conference. e-Gen. Tech. Rep. SRS-212. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 614 p.*(Vol. 212, pp. 273-279).

Alvarado, L., Mijangos, A., García, F. & Fuentes, J. (2008) Inventarios participativos de fauna para el ordenamiento territorial comunitario del ejido de Tumbisca: importancia para la toma de decisiones.

Alvim, PDT. (1976). Empleo do fitotensiómetro na determinação do estado de água na planta e do crescimento do tronco do cacauero. Centro de Pesquisas do Cacau, Itabuna, BA (Brasil).

Aranda, U. D. (2003). *Dendrometría*. Editorial Paraninfo.

Arizaga, S. (2009). *Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos*. Instituto Nacional de Ecología.

Arnau-Gras, J. (2007). Estudios longitudinales de medidas repetidas. Modelos de diseño y de análisis. *Avances en medición*, 5, 9-26.

Baker, T. R., Affum-Baffoe, K., Burslem, D. F. R. P., & Swaine, M. D. (2002). Phenological differences in tree water use and the timing of tropical forest inventories: conclusions from patterns of dry season diameter change. *Forest Ecology and Management*, 171(3), 261-274.

Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, (84-85).

Barford, C. C., Wofsy, S. C., Goulden, M. L., Munger, J. W., Pyle, E. H., Urbanski, S. P., Hutya, L., Saleska, S. R., Fitzjarrald, D., & Moore, K. (2001). Factors controlling long-and short-term sequestration of atmospheric CO<sub>2</sub> in a mid-latitude forest. *Science*, 294(5547), 1688-1691.

Bernal, E. (2013). *Bioestadística Básica para Investigadores con SPSS*. Bubok.

Bower, D. R., & Blocker, W. W. (1966). Notes and Observations: Accuracy of Bands and Tape for Measuring Diameter Increments. *Journal of Forestry*, 64(1), 21-22.

Bravo, F., del Río, M., Pando, V., San Martín, R., Montero, G., Ordoñez, C., & Cañellas, I. (2002). El diseño de las parcelas del Inventario Forestal Nacional y la

estimación de variables dasométricas. *El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible Palencia*, 19-35.

Bray, D. B., Merino-Pérez, L., & Barry, D. (2007). *Los bosques comunitarios de México: manejo sustentable de paisajes forestales*. Instituto Nacional de Ecología.

Bray, D. B. (2010). Toward 'post-REDD+ landscapes': Mexico's community forest enterprises provide a proven pathway to reduce emissions from deforestation and forest degradation. *CIFOR Infobrief*, (30).

Breitsprecher, A., & Hughes, W. (1975). A recording dendrometer for humid environments. *Biotropica*, 90-99.

Cameron, R. J., & Lea, R. (1980). Band Dendrometers or Diameter Tapes? *Journal of Forestry*, 78(5), 277-278.

Campelo, F., Gutierrez, E., Ribas, M., Nabais, C., & Freitas, H. (2007). Relationships between climate and double rings in *Quercus ilex* from northeast Spain. *Canadian journal of forest research*, 37(10), 1915-1923.

Callado, C. H., Roig, F. A., Tomazello-Filho, M., & Barros, C. F. (2013). Cambial growth periodicity studies of South American woody species—A review. *IAWA Journal*, 34(3), 213-230.

Carpenter, P. A. P. (1979). *Apuntes de dasometría*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Forestal.

Cattelino, P. J., Becker, C. A., & Fuller, L. G. (1986). Construction and installation of homemade dendrometer bands. *Northern Journal of Applied Forestry*, 3(2), 73-75.

Chan, T., Hölttä, T., Berninger, F., Mäkinen, H., Nöjd, P., Mencuccini, M., & Nikinmaa, E. (2016). Separating water- potential induced swelling and shrinking from measured radial stem variations reveals a cambial growth and osmotic concentration signal. *Plant, cell and environment*, 39(2), 233-244.

Chiang, J. M., McEwan, R. W., Yaussy, D. A., & Brown, K. J. (2008). The effects of prescribed fire and silvicultural thinning on the aboveground carbon stocks and net primary production of overstory trees in an oak-hickory ecosystem in southern Ohio. *Forest Ecology and Management*, 255(5), 1584-1594.

Clark, D. A., & Clark, D. B. (1994). Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa Rican tropical rainforest. *Journal of Ecology*, 865-872.

Clark, D. A., & Clark, D. B. (1999). Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. *Ecological applications*, 9(3), 981-997.

Clark, N. A., Wynne, R. H., & Schmoldt, D. L. (2000). A review of past research on dendrometers. *Forest Science*, 46(4), 570-576.

Conner, W. H., Day Jr, J. W., & Hook, D. D. (1988). The impact of rising water levels on tree growth in Louisiana. In *The ecology and management of wetlands. Volume 2: Management, use and value of wetlands*(pp. 219-224). Croom Helm.

Costa, A., Pereira, H., & Oliveira, Â. (2002). Influence of climate on the seasonality of radial growth of cork oak during a cork production cycle. *Annals of forest science*, 59(4), 429-437.

Coy, M. (2010). Los estudios del riesgo y de la vulnerabilidad desde la geografía humana: Su relevancia para América latina. *Población y sociedad*, 17(1), 9-28.

Cronkleton, P., Bray, D. B., & Medina, G. (2011). Community forest management and the emergence of multi-scale governance institutions: Lessons for REDD+ development from Mexico, Brazil and Bolivia. *Forests*, 2(2), 451-473.

Da Silva, R. P., dos Santos, J., Tribuzy, E. S., Chambers, J. Q., Nakamura, S., & Higuchi, N. (2002). Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166(1-3), 295-301.

De La Paz Pérez, O. C. (2000). *Relación estructura propiedades fisicomecánicas de la madera de algunas especies de encinos (Quercus) mexicanos*(Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF).

Drew, D. M., & Downes, G. M. (2009). The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: a review. *Dendrochronologia*, 27(2), 159-172.

Du, S., Yamanaka, N., Yamamoto, F., Otsuki, K., Wang, S., & Hou, Q. (2007). The effect of climate on radial growth of *Quercus liaotungensis* forest trees in Loess Plateau, China. *Dendrochronologia*, 25(1), 29-36.

Edwards, N. T., & Hanson, P. J. (1996). Stem respiration in a closed-canopy upland oak forest. *Tree Physiology*, 16(4), 433-439.

Encinas, J. I. (1995). Dial-dendro, instrumento para mediciones de crecimiento. *Revista forestal española: RFE*, (12), 38-40.

FAO (2004). *Inventario Forestal Nacional. Modelo Manual de Campo. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales*. Guatemala, Agosto 2004.

Farguell, X. M., Belmonte, R., Rodrigo, A., Rodà, F., & Piñol, J. (1994). Crecimiento diametral de la encina (*Quercus ilex* L.) en un año de abundante precipitación estival: efecto de la irrigación previa y de la fertilización. *Orsis: organismes i sistemes*, 9, 13-23.

Fenn, K., Malhi, Y., Morecroft, M., Lloyd, C., & Thomas, M. (2015). The carbon cycle of a maritime ancient temperate broadleaved woodland at seasonal and annual scales. *Ecosystems*, 18(1), 1-15.

Fregoso, A., Velázquez, A., Bocco, G., & Cortéz, G. (2001). El enfoque de paisaje en el manejo forestal de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Investigaciones geográficas*, (46), 58-77.

Fuller, L. G., Cattelino, P. J., & Reed, D. D. (1988). Correction equations for dendrometer band measurements of five hardwood species. *Northern Journal of Applied Forestry*, 5(2), 111-113.

Galán Larrea, R. (2007). Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuales en el sur de Oaxaca. Tesis de Maestría. Programa Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 155 p.

Gómez-Pompa, A., & Bainbridge, D. A. (1995). Tropical forestry as if people mattered. In *Tropical forests: management and ecology*(pp. 408-422). Springer New York.

Gould, P. J., Harrington, C. A., & Devine, W. D. (2011). Growth of Oregon white oak (*Quercus garryana*). *Northwest Science*, 85(2), 159-171.

Gutiérrez, E., Campelo, F., Camarero, J. J., Ribas, M., Muntán, E., Nabais, C., & Freitas, H. (2011). Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees*, 25(4), 637-646.

Hanson, P. J., Todd, D. E., West, D. C., Edwards, N. T., Tharp, M. L., & Simpson Jr, W. A. (2003). Tree and sapling growth and mortality. In *North American Temperate Deciduous Forest Responses to Changing Precipitation Regimes*(pp. 255-273). Springer New York.

Hanson, P. J., Tschaplinski, T. J., Wullschleger, S. D., & Auge, R. M. (2007). The resilience of upland-oak forest canopy trees to chronic and acute precipitation manipulations.

Hall, R. C. (1944). A vernier tree-growth band. *Journal of forestry*, 42(10), 742-743.

Hardiman, B. S., Gough, C. M., Halperin, A., Hofmeister, K. L., Nave, L. E., Bohrer, G., & Curtis, P. S. (2013). Maintaining high rates of carbon storage in old forests: A mechanism linking canopy structure to forest function. *Forest Ecology and Management*, 298, 111-119.

Hertel, D., & Leuschner, C. (2002). A comparison of four different fine root production estimates with ecosystem carbon balance data in a *Fagus–Quercus* mixed forest. *Plant and soil*, 239(2), 237-251.

Hinckley, T. M., & Bruckerhoff, D. N. (1975). The effects of drought on water relations and stem shrinkage of *Quercus alba*. *Canadian Journal of Botany*, 53(1), 62-72.

I Cosialls, L. S. (2000). *Estadística aplicada con SPSS y Statgraphics*(Vol. 201). Edicions Universitat Barcelona.

Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epidometría forestal*. Universidad de Brasilia, Departamento de Ingeniería Forestal. 72p.

Interián-Ku, V. M., Vaquera-Huerta, H., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., & Romero-Manzanares, A. (2014). Influencia de factores morfológicos y ambientales sobre el crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en un bosque tropical caducifolio, en México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(3), 255-270.

Johnson, P. S., Shifley, S. R., & Rogers, R. (2002). *The Ecology and Silviculture of Oaks*. CABI. New York, NY, 503.

Jones, E. A., Reed, D. D., Mroz, G. D., Liechty, H. O., & Cattelino, P. J. (1993). Climate stress as a precursor to forest decline: paper birch in northern Michigan, 1985-1990. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(2), 229-233.

José, A. D. L. L., Espinosa, L. M., & Aguilar, B. R. (2003). Los usos no leñosos de los encinos en México.

Keeland, B. D., & Sharitz, R. R. (1993). Accuracy of tree growth measurements using dendrometer bands. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(11), 2454-2457.

Keeland, B. D., & Sharitz, R. R. (1995). Seasonal growth patterns of *Nyssa sylvatica* var *biflora*, *Nyssa aquatica*, and *Taxodium distichum* s affected by hydrologic regime. *Canadian Journal of Forest Research*, 25(7), 1084-1096.

Keeland, B. D., & Young, P. J. (2014). Installation of traditional dendrometer bands. *US Geological Survey. National Wetlands Research Center*. <http://www.nwrc.usgs.gov/topics/Dendrometer/>. Accessed, 23.

Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Muller, K. E., & Nizam, A. (1978). Applied regression analysis and other multivariate techniques. North Scituate, MA: Dux-bury Press. Kleinbaum Applied Regression Analysis and Other Multivariate Techniques 1978.

Klimas, C. A., Kainer, K. A., & de Oliveira Wadt, L. H. (2013). El valor económico de la extracción sostenible de las semillas y la madera de especies de uso múltiple. *Avances y perspectivas del manejo forestal para uso múltiple en el trópico húmedo*, 175.

Klooster, D., & Masera, O. (2000). Community forest management in Mexico: carbon mitigation and biodiversity conservation through rural development. *Global environmental change*, 10(4), 259-272.

Koleff, P., Urquiza-Haas, T., & Contreras, B. (2012). Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).

Kuroda, K., & Kiyono, Y. (1997). Seasonal rhythms of xylem growth measured by the wounding method and with a band-dendrometer: an instance of *Chamaecyparis obtusa*. *IAWA Journal*, 18(3), 291-299.

Lechuga, V., Carraro, V., Viñepla, B., Carreira, J. A., & Linares, J. C. (2018). Reprint of "Managing drought-sensitive forests under global change. Low competition enhances long-term growth and water uptake in *Abies pinsapo* ". *Forest Ecology and Management*, 418, 23-33.

Mackay, E. (1964). *Dasometría: Teoría y técnica de las mediciones forestales*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Sección de Publicaciones.

Makocki, M. W., & J. I. Valdez-Hernández. (2001). Radial growth periodicity of tree species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of Mexico: Implications for their management. In: Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture. College of Forestry and Natural Resources, University of the Philippines, Los Baños. pp: 85-96.

Méndez, F., Valdez-Hernández, J. I., López-López, M. Á., & Vaquera-Huerta, H. (2010). Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 16(2), 19-33.

Marañón, T., Díaz, C. M. P., Ramos, I. M. P., & Villar, R. (2014). Tendencias en la investigación sobre ecología y gestión de las especies de *Quercus*. *Revista Ecosistemas*, 23(2), 124-129.

Marjanović, H., Alberti, G., Paladinić, E., Indir, K., Delle Vedove, G., Peressotti, A., & Vuletić, D. (2009, January). ONE YEAR SINCE THE ESTABLISHMENT OF A RESEARCH STATION FOR INTENSIVE MONITORING OF CARBON CYCLING IN A PEDUNCULATE OAK STAND-WHAT HAVE WE LEARNED?. In *Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima*.

Marjenović, H., Ostrogović, M. Z., Alberti, G., Balenović, I., Paladić, E., Indir, K., ... & Vuletić, D. (2011). Carbon dynamics in younger stands of Pedunculate oak during two vegetation periods. *Šumarski list*, 135(13), 59-72.

Marti, J. A., Camarero, J. J., & Montserrat-Martí, G. (2012). Seasonal dynamics of secondary growth and xylem anatomy in two coexisting Mediterranean *Quercus*. *Forest Systems*, 21(1), 9-22.

Martín, D., Vázquez-Piqué, J., & Alejano, R. (2015). Effect of pruning and soil treatments on stem growth of holm oak in open woodland forests. *Agroforestry Systems*, 89(4), 599-609.

Martín, D., Vázquez-Piqué, J., Carevic, F. S., Fernández, M., & Alejano, R. (2015). Trade-off between stem growth and acorn production in holm oak. *Trees*, 29(3), 825-834.

McCarthy, H. R., Oren, R., Johnsen, K. H., Gallet- Budynek, A., Pritchard, S. G., Cook, C. W., ... & Finzi, A. C. (2010). Re- assessment of plant carbon dynamics at the Duke free- air CO<sub>2</sub> enrichment site: interactions of atmospheric [CO<sub>2</sub>] with nitrogen and water availability over stand development. *New Phytologist*, 185(2), 514-528.

McMahon, S. M., & Parker, G. G. (2015). A general model of intra- annual tree growth using dendrometer bands. *Ecology and Evolution*, 5(2), 243-254.

Michelot, A., Simard, S., Rathgeber, C., Dufrêne, E., & Damesin, C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree physiology*, tps052.

LeBlanc, D. C., & Stahle, D. W. (2015). Radial growth responses of four oak species to climate in eastern and central North America. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(7), 793-804.

Liming, F. G. (1957). Homemade dendrometers. *Journal of forestry*, 55(8), 575-577.

López-Ayala, J. L., Hernández, J. I. V., Lazalde, J. R. V., & Terrazas, T. (2006). Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia*, 40(1), 139-147.

O'Brien, J. J., Oberbauer, S. F., Clark, D. B., & Clark, D. A. (2008). Phenology and stem diameter increment seasonality in a Costa Rican wet tropical forest. *Biotropica*, 40(2), 151-159.

O'Laughlin, J., Livingston, R. L., Thier, R., Thornton, J. P., Toweill, D. E., & Morelan, L. (1994). Defining and measuring forest health. *Journal of Sustainable Forestry*, 2(1-2), 65-85.

Olivar, J., Bogino, S., Rathgeber, C., Bonnesoeur, V., & Bravo, F. (2014). Thinning has a positive effect on growth dynamics and growth–climate relationships in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) trees of different crown classes. *Annals of forest science*, 71(3), 395-404.

Pacheco, A., Camarero, J. J., & Carrer, M. (2015). Linking wood anatomy and xylogenesis allows pinpointing of climate and drought influences on growth of coexisting conifers in continental Mediterranean climate. *Tree physiology*, tpv125.

Pélissier, R., & Pascal, J. P. (2000). Two-year tree growth patterns investigated from monthly girth records using dendrometer bands in a wet evergreen forest in India. *Journal of Tropical Ecology*, 16(03), 429-446.

Pérez Olivera, C. D. L. P., Reyes Jaramillo, I., & Domínguez Rebollar, S. (2012). ANATOMÍA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES DE *Quercus* (FAGACEAE) DEL ESTADO DE MÉXICO. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 33(104).

Pérez-Volkow, L. (2018). Factores socioeconómicos que afectan la eficiencia de la producción de carbón vegetal en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán, México (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

Peña Ramírez, V. M., & Bonfil, C. (2003). Efecto del fuego en la estructura poblacional y la regeneración de dos especies de encinos (*Quercus liebmanii* Oerst. y *Quercus magnoliifolia* Née) en la región de La Montaña (Guerrero), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (72).

Pineda-Herrera, E., Manzano-Méndez, F., Valdez-Hernández, J. I., & Beltrán-Rodríguez, L. A. (2018). Crecimiento diamétrico de *Cordia alliodora* (Ruiz and Pav.) Oken en un sistema agroforestal de Oaxaca, México. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15(37), 25-33.

Posey, D. A., & Dutfield, G. (1996). *Beyond intellectual property: toward traditional resource rights for indigenous peoples and local communities*. IDRC.

Prodan, M. (1997). Mensura forestal (No. 1). Agroamerica.

Rambal, S., Joffre, R., Ourcival, J. M., Cavender- Bares, J., & Rocheteau, A. (2004). The growth respiration component in eddy CO<sub>2</sub> flux from a *Quercus ilex* mediterranean forest. *Global Change Biology*, 10(9), 1460-1469.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Rzedowski, J., & Huerta, L. (1994). vegetación de México (No. 582.16 R997r Ej. 1 002135). México: Limusa, Noriega Editores.

Roig, F. A., Boninsegna, J. A., & Holmes, R. L. (1992). Growth rates in diameter, basal area, and height of *Pilgerodendron uviferum*; relationship between growth index and germination. *Trees*, 6(4), 199-203.

Rosas, F. (2013). Crecimiento e Incremento en Diámetro y Altura de *Pinus rudis* Endl. en Respuesta a Preclareos en San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Nuevo León, México. 93 p.

Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T., Morin, H., Saracino, A., Motta, R., & Borghetti, M. (2006). Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New phytologist*, 170(2), 301-310.

Sabogal, C., de Jong, W., Pokorny, B., & Louman, B. (2008). Manejo forestal comunitario en América Latina. *Experiencias, lecciones aprendidas y retos para el futuro*. Bogor, ID, CIFOR.

Santos, C., & Jabin, R. (2013). Estructura y crecimiento de tres especies arbóreas en una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo.

Salomón, R. L., Limousin, J. M., Ourcival, J. M., Rodríguez- Calcerrada, J., & Steppe, K. (2017). Stem hydraulic capacitance decreases with drought stress: implications for modelling tree hydraulics in the Mediterranean oak *Quercus ilex*. *Plant, cell and environment*, 40(8), 1379-1391.

Schmidt, M., Veldkamp, E., & Corre, M. D. (2015). Tree species diversity effects on productivity, soil nutrient availability and nutrient response efficiency in a temperate deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 338, 114-123.

Sheil, D. (2003). Growth assessment in tropical trees: large daily diameter fluctuations and their concealment by dendrometer bands. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(10), 2027-2035.

Shestakova, T. A., Gutiérrez, E., Kirilyanov, A. V., Camarero, J. J., Génova, M., Knorre, A. A., ... & Voltas, J. (2016). Forests synchronize their growth in contrasting Eurasian regions in response to climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(3), 662-667.

SmartWood. 2005. Resumen público de certificación de la empresa comunitaria Servicios del Bosque, S.A. (FORESCOM). New York, US, SmartWood Program.

Suárez Reyes, C. (2013). Empoderamiento y reapropiación del territorio para el manejo de recursos naturales: un análisis geográfico para la planeación del uso del suelo (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

Szklo, M., y Nieto, F. J. (2003). Epidemiología intermedia: conceptos y aplicaciones. Ediciones Díaz de Santos.

Takahashi, K., & Koike, S. (2014). Altitudinal differences in bud burst and onset and cessation of cambial activity of four subalpine tree species. *Landscape and ecological engineering*, 10(2), 349-354.

Trabaud, L. (1994). The effect of fire on nutrient losses and cycling in a *Quercus coccifera* garrigue (southern France). *Oecologia*, 99(3-4), 379-386.

Toledo, V. M., Ortiz-Espejel, B., Cortés, L., Moguel, P., & de Jesús Ordoñez, M. (2003). The multiple use of tropical forests by indigenous peoples in Mexico: a case of adaptive management. *Conservation Ecology*, 7(3).

Ugalde, L., (1981). Conceptos básicos de Dasmetría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Valencia, A. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, (75).

Vázquez-Piqué, J., & Salguero, M. L. (2009, June). Influencia de las claras de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arn. en el crecimiento diametral del alcornoque (*Quercus suber* L.) en Bozoo (Burgos). In *Congresos Forestales*.

Vieira, J., Rossi, S., Campelo, F., & Nabais, C. (2014). Are neighboring trees in tune? Wood formation in *Pinus pinaster*. *European journal of forest research*, 133(1), 41-50.

Vitas, A. (2011). Seasonal growth variations of pine, spruce, and birch recorded by band dendrometers in NE Lithuania. *Baltic Forestry*, 17(2), 197-204.

Wagner, R. J., Kaye, M. W., Abrams, M. D., Hanson, P. J., & Martin, M. (2012). Tree-ring growth and wood chemistry response to manipulated precipitation variation for two temperate *Quercus* species. *Tree-Ring Research*, 68(1), 17-29.

Way, D. A., Ladeau, S. L., McCarthy, H. R., Clark, J. S., Oren, R. A. M., Finzi, A. C., & Jackson, R. B. (2010). Greater seed production in elevated CO<sub>2</sub> is not accompanied by reduced seed quality in *Pinus taeda* L. *Global Change Biology*, 16(3), 1046-1056.

Whitmore, J. L. (2011). *Planted Forests in the Neotropics*. Special Report, ISTF NEWS. Bethesda, Maryland, USA.

Williams Linera, G. (1996). Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques*, 2(2).

Worbes, M. (1995). How to measure growth dynamics in tropical trees a review. *IAWA journal*, 16(4), 337-351.

Yan, J. H., Zhou, G. Y., Zhang, D. Q., Tang, X. L., & Wang, X. (2006). Different patterns of changes in the dry season diameter at breast height of dominant and evergreen tree species in a mature subtropical forest in South China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(8), 906.

Zavala, F. 2000. El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo Sum* 7: 269-276.