

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Estructura e Incrementos en Volumen de *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. et Cham. en dos Condiciones Altitudinales en el Pico de Tancítaro, Santa Ana Zirosto, Uruapan, Michoacán.

Por:

ALEJANDRO CHURAPE MELENA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Estructura e Incrementos en Volumen de *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. et Cham. en
dos Condiciones Altitudinales en el Pico de Tancitaro, Santa Ana Zirosto, Uruapan,
Michoacán.

Por:

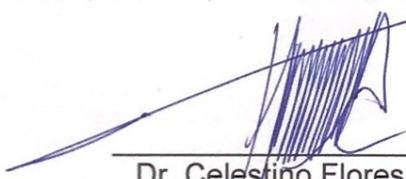
ALEJANDRO CHURAPE MELENA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:



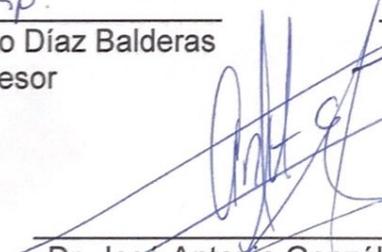
Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal



M.C. José Aniseto Díaz Balderas
Coasesor



Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2020

Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 38111-425103001-2175, Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del Profesor Investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A Dios:

Porque él es mi guardián y la sombra a mi diestra. Tanto de día como de noche, Dios me preserva de todo mal. Él guarda mi alma, mi salir y mi regresar ahora y para siempre.

A mis padres:

Jesús Churape Solorzano y María Esperanza Malena Torres, por el esfuerzo inconmensurable que han hecho cada día para poder dar una vida digna y un estudio de calidad a su hijo, a ellos que en más de una ocasión han pasado desvelos y angustias; que se han visto invadidos por la incertidumbre, tristezas y miedos por la lejanía del hijo ausente.

A mis hermanos Juan Carlos y Deisy Ofelia, a quienes llevo en mi corazón y espero apoyar en sus sueños y metas, como ellos me han apoyado. A mis sobrinos, esperando ser un ejemplo para ellos. A los familiares, tíos, primos y abuelos.

A Adilene Calvillo, por su arduo apoyo, comprensión y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por la formación académica y profesional que me otorgo.

Al Departamento Forestal, principalmente a sus facilitadores, por compartir sus conocimientos, en mi formación académica y personal.

Al Dr. Celestino Flores López, por sus amplios conocimientos y sabios consejos. Por su disponibilidad e interés en el emprendimiento de proyectos, tales como esta investigación, que sin su apoyo no hubiera sido posible desarrollar.

Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo. Por ser mi ejemplo a seguir, porque sus enseñanzas y regaños no sólo me servirán en el ámbito profesional sino en la vida.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio, por su apoyo en el desarrollo del presente proyecto, por sus consejos y la admiración que me generan sus amplios conocimientos en el sector forestal y empresarial.

A mis amigos: Virginia Castañeda; Hilda Lenny Hernández; Carlos Enrique Gutiérrez; Héctor Alejandro García; Guillermo Adrián Roblero; Linder Deonicio Mazariegos; Guadalupe Estefanía Rivas; Ignacio Alberto Pérez; Mariel Ramírez y Héctor Reyes.

A los ingenieros que me apoyaron en el trabajo en campo, para el desarrollo de este proyecto: Jonatan Sánchez; Carlos Enrique Gutiérrez; Lorenzo Montalvo; Lizeth Avendaño; Francisco Pérez; Luis Miguel España; Deysi Mariel Gutiérrez; Alejandro Sánchez; y Jesús Deceano.

Al ing. Manuel Gámez de León, por su calidad humana y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos e hipótesis	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1. Ubicación del área de estudio	10
2.2. Diseño de muestreo y establecimiento de sitios permanentes.....	11
2.3. Secuela de estimación de incrementos.....	13
2.4. Estimación de probabilidad de cambio de categoría diamétrica	14
2.5. Estimación de incremento corriente anual (ICA)	14
2.6. Análisis estadístico en comparación de incrementos	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
3.1. Probabilidad de cambio de categorías diamétricas en <i>Abies religiosa</i>	17
3.2. Probabilidad de cambio en los rodales.....	20
3.3. Descripción de incrementos corriente anual entre rodales.....	21
3.4. Diferencias Incremento corriente anual entre rodales	23
4. CONCLUSIONES	26
5. RECOMENDACIONES.....	27
6. LITERATURA CITADA	28
7. ANEXOS.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Volúmenes e incrementos de los dos rodales con <i>Abies religiosa</i> en interacción con otras especies, en el APFF Pico de Tancítaro.	23
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las áreas de estudio dentro del APFF Pico de Tancítaro, ubicadas en los terrenos de la comunidad Indígena de Santa Ana Zirosto, Municipio de Uruapan, Michoacán.....	11
Figura 2. Localización de los rodales de estudio dentro del APFF Pico de Tancítaro, ubicados en los terrenos de la comunidad Indígena de Santa Ana Zirosto, Municipio de Uruapan, Michoacán.....	12
Figura 3. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica de la especie <i>Abies religiosa</i> en el rodal Los Pinos, ubicado en el APFF Pico de Tancítaro.	18
Figura 4. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica de la especie <i>Abies religiosa</i> en el rodal Tirimicuaro, ubicado en el APFF Pico de Tancítaro.....	19
Figura 5. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica del rodal Los Pinos, considerando todas las leñosas ubicado en el APFF Pico de Tancítaro.....	21
Figura 6. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica del rodal Tirimicuaro, considerando todas las leñosas ubicado en el APFF Pico de Tancítaro.....	22
Figura 7. Comparación de incremento corriente anual (ICA) en m ³ /ha en <i>Abies religiosa</i> entre los rodales Los Pinos y Tirimicuaro, ubicados en el APFF Pico de Tancítaro. Las calificaciones promedio con letra diferente denotan diferencias entre los rodales, según la prueba de comparación de medias ($\alpha=0.05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%.....	24
Figura 8. Comparación de incremento corriente anual (ICA) en m ³ /ha entre los rodales Los Pinos y Tirimicuaro, ubicados en el APFF Pico de Tancítaro. Las calificaciones promedio con letra diferente denotan diferencias entre los rodales, según la prueba de comparación de medias ($\alpha=0.05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%.....	25

RESUMEN

En el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Pico de Tancítaro se puede observar la presencia de diferentes plantas leñosas de importancia forestal, en donde se encuentra al *Abies religiosa*, especie fundamental para el desarrollo ambiental, económico y social de la región. Esta investigación busca conocer la estructura diamétrica de *Abies religiosa*, su cambio estructural en diámetro y la comparación de Incremento Corriente Anual (ICA) en dos condiciones altitudinales considerando las diferentes asociaciones vegetales.

Se identificaron dos rodales en diferentes condiciones altitudinales con presencia de *Abies religiosa*, se establecieron sitios de muestreo permanentes de 1000 m² en julio del año 2018 y una remediación en julio de 2019. Se obtuvieron datos de diámetro y altura para conocer los incrementos y cambios de categoría diamétrica en el *Abies religiosa* y las diferencias entre las condiciones altitudinales, para la especie y entre los rodales evaluados. Para el cálculo de los incrementos se usó una metodología propuesta por Avery y Burkhart, para conocer si había o no diferencias significativas se empleó una prueba estadística de comparación de medias.

En el rodal Tirimicuaro se presenta una distribución irregular equilibrada, mientras que en Los Pinos una distribución unimodal; en ambos rodales se observaron cambios estructuras para *Abies* y en especies leñosas asociadas, siendo más evidente en Tirimicuaro. Se encontró que entre las dos condiciones altitudinales se presentaron diferencias significativas en el ICA para *Abies religiosa* de 14.290 y 4.131 m³/ha en los rodales Los pinos y Tirimicuaro; respectivamente. También hubo diferencias estadísticas en la comparación de ICA entre los rodales, con valores promedio de 4.275 y 4.047 m³/ha respectivamente.

Palabras clave: *Abies religiosa*, ICA, estructura diamétrica, volumen.

ABSTRACT

Pico de Tancitaro is a Protected Area of Flora and Fauna (PAFF) with floristic diversity where *Abies religiosa* is a fundamental species for the environmental, economic and social development of the region. This study tries to know the diametric structure, the diametric structural change and to compare the Current Annual Increment (CAI) of *Abies religiosa* for two altitudinal conditions with different plant associations.

Two stands were identified in different altitudinal conditions with the presence of *Abies religiosa*, permanent sample plots of 1000 m² were established in July 2018 and a re-measurement in July 2019. Diameter and height data were obtained to know the increases and changes of category diameter in *Abies religiosa* and the differences between the altitudinal conditions, for the species and between the evaluated stands. To calculate the increments, a methodology proposed by Avery and Burkhart was used; and to know if there were significant differences or not, a statistical test of comparison of means was used.

In the Tirimicuaro stand presents a balanced irregular distribution, while in Los Pinos stand was a unimodal distribution and structural changes were observed in both stands to *Abies* and in woody species, being more evident in Tirimicuaro. It was found that between the two altitudinal conditions there were significant differences in the CAI, for *Abies religiosa* was 14.290 and 4.131 m³/ha in the Los pinos and Tirimicuaro stands; respectively. There were also statistical differences in the comparison of CAI between the stands, with average values of 4.275 and 4.047 m³/ha respectively.

Keywords: *Abies religiosa*, CAI, diameter structure, volume.

1. INTRODUCCIÓN

El *Abies religiosa* (Kunth) *Schltl et Cham* es nativa de México (Ortiz-Bibian *et al.*, 2019). Su distribución es dispersa y confinada (Rzedowski, 2006). Estas comunidades vegetales se desarrollan en zonas montañosas y frías, en altitudes de 1900 a 3500 metros, desarrollándose generalmente en lugares húmedos de las montañas o barrancas (INEGI, 1995). En México los oyameles despiertan interés, por su capacidad para desarrollarse cerca del límite superior de la vegetación arbórea; la utilidad de su madera, las resinas y follaje, así como las repercusiones potenciales del cambio climático sobre esa comunidad vegetal (Cuevas-Guzmán *et al.*, 2011). También los bosques de *Abies religiosa* constituyen comunidades clímax, donde la cobertura vegetal y propiedades físicas del suelo permiten una absorción y retención de agua de lluvia eficientes (Benavides-Meza *et al.*, 2011).

Además, los bosques de oyamel son importantes en la protección de fauna silvestre que se desarrolla en su interior (Benavides-Meza *et al.*, 2011; SEMARNAT, 2016). Son fuente de árboles de ornato, protección de cuencas hidrográficas y lugares de recreo (Eguiarte *et al.*, 1997). *Abies religiosa* es utilizada para restauración de áreas y plantaciones comerciales para árboles de navidad, logrando así un desarrollo sustentable y una reconversión de los terrenos de baja producción agrícola a terrenos forestales, dando protección a terrenos sin cobertura arbórea y de poca productividad agrícola (Gallardo-Salazar *et al.*, 2019).

Esta especie tiene importancia ecológica relevante en especial en el Estado de Michoacán ya que funge como árbol de hibernación para la mariposa Monarca (*Dananus plexippus* L.), que migra a la zona centro de México cada año (Pérez-Miranda *et al.*, 2017). Esta mariposa está simbólicamente enlazada al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y también es de interés para diversas naciones (CONANP, 2001). Es gracias a estos servicios que en el Estado de Michoacán y el Estado de México se localiza el Área Natural Protegida (ANP) Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, reconocida por la UNESCO como un Bien de Patrimonio Mundial Natural (SEMARNAT, 2016).

El ANP Pico de Tancítaro, representa una riqueza hidrológica esencial para la región (Cerano *et al.*, 2014). Cuenta con 16 cuencas, las cuales son fundamentales para

el desarrollo económico de 81 poblaciones y comunidades (Hernández, 2014). Es la reserva más grande y de mayor elevación del Estado de Michoacán, con una extensión mayor a 23, 000 ha y un rango altitudinal que va de los 2,200 a más de 2 800 msnm (Cerano-Paredes *et al.*, 2013). Se ubica en cinco municipios: Tancítaro, Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Peribán de Ramos y Los Reyes (Fuentes, 2002). También es fundamental por su contribución a la conservación, ya que en su interior se pueden encontrar alrededor de 10 especies de flora, 10 de mamíferos, 22 de aves, 24 entre anfibios y reptiles y 5 de hongos en algún estatus de conservación (Hernández, 2014).

En esta reserva se desarrollan comunidades vegetales de bosques mixtos de encino-pino *Abies*, *Pinus* y bosque mesófilo (Hernández, 2014). Y en especial los bosques de *A. religiosa* que poseen características florísticas y ecológicas especiales, asociadas con factores climáticos y edáficos; representante de la variabilidad climática de la región (Cerano *et al.*, 2014; García *et al.*, 2016). Por otra parte, los bosques de *A. religiosa* brindan servicios ecosistémicos de provisión (alimentos, agua, madera, fibras, etc.) y de regulación; como regulación climática, así como de vectores enfermedades y erosión del suelo (García *et al.*, 2016).

El manejo de los recursos en esta ANP presenta una alta complejidad, debido a los diferentes factores que pueden interferir en un desarrollo exitoso (Fuentes, 2002). La agricultura se ve desarrollada por el cultivo de maíz y aguacate, siendo este último el de mayor extensión y de mayores exigencias (Fuentes, 2002). Las afectaciones al medio ambiente por los sistemas agrícolas se presentan por degradación del suelo, uso ineficaz del agua y energía, así como por la contaminación de agua y suelo (Pardo *et al.*, 2012). Espinoza *et al.* (2009) refieren que el cambio de uso de suelo forestal para establecer huertos de aguacate, disminuye la infiltración del agua y aumenta la evapotranspiración, con ello se reducen los caudales en manantiales. También se ve disminuida la capacidad de captura de carbono por hectárea por año, la regulación del clima y la biodiversidad que albergan los bosques (Espinoza *et al.*, 2009).

Es por ello que la conservación y monitoreo de los bosques de *A. religiosa* tienen una gran importancia ecológica, (Pérez-Miranda *et al.*, 2017). Ya que estos bosques son fundamentales para el diseño de políticas de conservación, donde se pueden observar numerosas problemáticas en la búsqueda de la sustentabilidad (CONANP, 2001). Otra

aportación de estos bosques es su capacidad de captura y secuestro de carbono. Son de importancia vital para atenuar a mediano plazo la evolución del clima a escala global; el secuestro de los excedentes de los gases de efecto invernadero se puede dar, de manera temporal por medio de la biomasa y permanente mediante su reincorporación al suelo (Martínez de Saavedra y Sánchez, 2000). En estos bosques los árboles tienen la capacidad de capturar altas concentraciones de carbono atmosférico hasta alcanzar entre 81 y 100 cm de diámetro a la altura del pecho (García *et al.*, 2016).

La predicción del nicho climático para la especie indica que este se verá reducido hasta en un 69.2% para el año 2030 y para el 2090 disminuirá hasta en un 96.5% de los lugares donde actualmente se desarrolla (Sáenz-Romero *et al.*, 2012). Aunque Pérez-Miranda *et al.* (2017) mencionan que las áreas con las condiciones óptimas sobrepasan los lugares donde se encuentra la especie y que la razón por la que no se desarrolla en estas áreas es por factores abióticos como el uso actual del suelo y bióticos. Debido a estas predicciones es que se hace necesario desplegar genotipos que se puedan desarrollar en las nuevas ubicaciones proyectadas (Sáenz-Romero *et al.*, 2012). Ya que la adaptación de las especies es la única opción para enfrentar los impactos del cambio climático (IPCC, 2014). Es por ello que la investigación y conservación asistida se hacen indispensables para la subsistencia de la especie (Sáenz-Romero *et al.*, 2012).

Es por lo antes mencionado que, si se considera el manejo de estos bosques, se debe tomar en cuenta la composición florística de las unidades mínimas de manejo, tener en cuenta la fenología de la especie y su arreglo espacial (CONAFOR, 2017). Buscando la protección de hábitats, identificando los límites altitudinales de la cuenca, estableciendo zonas de amortiguamiento y haciendo intervenciones no intensivas (CONAFOR, 2013). La especie se usa con fines de restauración (Gallardo-Salazar *et al.*, 2019). También la implementación de plantaciones forestales comerciales para la producción de árboles de navidad con *A. religiosa* es fundamental para el desarrollo económico, social y ambiental del país, ya que brinda un beneficio para los productores, contribuye en la confederación entre gobierno, productores y contribuye en la protección del suelo (Zamora, 2015).

El monitoreo de sistemas forestales es importante para conocer su desarrollo, comportamiento y en su caso degradación (Corral-Rivas, *et al.*, 2008); lo que implica

evaluar el estatus del bosque con alguna referencia o historial (Leyva-Ovalle *et al.*, 2017). Hoy en día el monitoreo permite hacer modificaciones en el manejo de los recursos forestales, demostrar los resultados, ejemplo incrementos, de un programa de manejo y conocer con determinada certeza el impacto que se genera, considerando en todo momento la resiliencia de los sistemas ecológicos (Corral, 2018). Uno de los métodos de evaluación es el establecimiento de sitios permanentes, herramienta empleada por los investigadores de la forestería para conocer variables silvícolas, económicas, ecológicas, sociales y culturales (Gómez, 2017).

El establecimiento de sitios permanentes permite evaluar el rendimiento y predecir la producción futura de los bosques evaluados (Beetson *et al.*, 1992). Ya que para algunas especies el estudio de virutas puede presentar sesgos (Vanclay, 1994). El conjunto de los datos de estos sitios en periodos largos puede ser usados para la calibración de modelos de crecimiento y ajustes a los programas de manejo forestal (Corral, 2018). Se deben considerar algunos criterios para el establecimiento de estos sitios y aunque no hay una metodología, es importante que estos sitios sigan siendo representativos de la población a través del tiempo (Schreuder, *et al.*, 2006). Estos sitios también son fundamentales en el monitoreo para la certificación por buen manejo, ya que se deben conocer aspectos como: rendimiento, tasas de crecimiento, condición del bosque, regeneración, entre otros (FSC, 2010).

De la misma manera, los sitios con remediación completa son altamente eficientes al momento de estimar los cambios netos del rodal (Torres y Magaña, 2001), ya que nos permite evaluar aspectos como la mortalidad, incorporación e índices de sitio, muy útiles en el manejo forestal (Corral-Rivas *et al.*, 2013). Las evaluaciones de mortalidad e incorporación serán indicadores del funcionamiento de los ecosistemas, ayudando a determinar el equilibrio de una población o comunidad vegetal (Trigueros *et al.*, 20014).

El incremento en altura es uno de los parámetros que también se pueden medir por medio de este método de evaluación, ya que por medio de otros métodos como el de sitios temporales solo se conoce la altura inmediata, pero no el incremento en un lapso. Así como el incremento en diámetro lo que conlleva a la incorporación del arbolado a categorías aprovechables, donde el conocimiento del tiempo de paso es importante en el desarrollo silvícola y el incremento que se da en las diferentes etapas fenológicas (Imaña

y Encinas, 2008). Para conocer el incremento en cualquier variable dendrométrica, se hace necesario conocer el comportamiento del arbolado en un lapso (Imaña y Encinas, 2008). Es aquí donde se hace indispensable el empleo de métodos de monitoreo, como el de sitios permanentes.

Existen aspectos importantes para evitar la pérdida de información en los sitios permanentes; como un buen diseño de muestreo, recomendándose el muestreo sistemático; se debe de considerar un tamaño de muestra representativo; y considerar de igual manera la forma y tamaño de los sitios, tomando en cuenta la superficie (Corral-Rivas *et al.*, 2013). El tamaño y forma de los sitios puede variar dependiendo las características del rodal a evaluar buscando una certidumbre de los datos y evitando gastos excesivos (McRoberts *et al.*, 1992). También se considera el objetivo para el que se establecerán los sitios (Corral-Rivas *et al.*, 2013). Para este trabajo se implementaron sitios circulares de 0.1 ha. También se debe tomar en cuenta una correcta captura y manejo de datos, buscando así mantener la más alta calidad de la información recolectada (Camacho, 2000).

Para conocer el rendimiento de un organismo, población u objeto, se debe considerar el crecimiento del mismo en un lapso (Prodan *et al.*, 1997). Cuando se busca conocer los rendimientos a nivel rodal, se pueden considerar las relaciones de rendimientos predichos (Návar-Cháidez y Domínguez-Calleros, 2013). La forma algebraica del modelo de rendimiento, es posible derivarla de la integración matemática del correspondiente incremento. Pero para la modelación de árboles individuales esto se hace más complejo, por medio de ellos se puede estimar la competencia y tomar decisiones si el individuo vive o muere (Clutter *et al.*, 1983; Návar-Cháidez y Domínguez-Calleros, 2013), a partir de mediciones en el diámetro en sitios de remediación se puede hacer modelación de crecimiento en donde estos modelos nos permiten conocer la curva de crecimiento, partiendo desde un incremento corriente anual (ICA) igual a 0 cuando el diámetro es 0, esto gracias a la relación que se presenta entre la edad y el diámetro normal (Návar-Cháidez y Domínguez-Calleros, 2013).

También se pueden encontrar otros modelos de rendimiento o incrementos en altura. Estos modelos se desarrollan ya que es prácticamente imposible medir todas las alturas de un rodal, habiendo algunas excepciones (Prodan *et al.*, 1997). Las alturas

relativas siempre se pueden relacionar con otras características del rodal como el acomodo estructural, edad, calidad de sitio, diámetro entre otros; la dispersión de alturas, se puede empatar con el diámetro del rodal; tomando en cuenta que la variación que se da en alturas para un mismo diámetro es debido a las características que no se consideran. Existen diversas ecuaciones para la estimación en relación al diámetro; algunas de ellas son muy rígidas; por lo que ocasiones pueden tener sesgos, más cuando se trata de representar curvas de rodales de monte alto y las otras son aplicable en condiciones especiales (Prodan *et al.*, 1997).

Otro método para conocer los crecimientos y rendimientos de árboles o rodales es por medio de sitios temporales, esto por medio del conteo de anillos y aunque se obtienen datos más rápidamente los resultados pueden presentar errores de percepción, ya que se pueden determinar situaciones en el tiempo donde no existen (Alder, 1981). Para la estimación de incrementos por medio de sitios temporales podemos encontrar diversos métodos desarrollados para coníferas en México, en donde se hace uso de los diámetros normales con corteza y sin corteza, tablas de producción de la especie evaluada y tiempo de paso (Aguilar y Villa, 1995).

De acuerdo con Corral-Rivas y Návar-Cháidez (2005) el montaje del crecimiento del bosque que proporciona resultados a nivel más detallado requiere de datos obtenidos en parcelas permanentes de muestreo, pus permiten la representación de la realidad en las diferentes etapas de desarrollo de las masas forestales. De igual manera para poder conocer el crecimiento de cualquier variable dendrométrica, se deben considerar los cambios en el tiempo a raíz de una intervención (Imaña y Encinas, 2008).

También se puede encontrar el establecimiento de sitios permanentes para el desarrollo de estudios; como el que desarrollo Díaz (2002) en donde se evaluó la respuesta de un rodal de *Pinus rudis* Endl. a intervenciones de aclareo en diversos porcentajes de intensidad, en donde se evaluó el incremento en diámetro a la base (0.30 m), el diámetro normal (1.3 m), el área basal y volumen por hectárea, la primera evaluación fue en el primer año y la segunda en el cuarto.

En los bosques tropicales o selvas también se encuentran estudios donde se empleó este tipo de muestreo, como el que desarrolló por Gómez (2017); quien estableció 100 sitios permanentes, en donde el objetivo era conocer los parámetros físico-químicos,

en donde se buscaba la reacción con la altura y la calidad de sitio; y así lograr desarrollar cartografía que asocie las características dasométricas con la información geográfica del área.

Así como se han establecido estudios con esta modalidad de muestreo en bosque templados y selvas en el país, también se han establecido estudios en comunidades vegetales de manglar, como la investigación que desarrollo Aguilar (2016), su estudio fue dirigido a conocer la dinámica de crecimiento e incremento en área basal y volumen, en donde aunado a ello se evaluó la incorporación y la mortalidad. Para el desarrollo de su estudio se establecieron 23 sitios permanentes, siendo estos de diseño de muestreo selectivo, se usó este diseño dadas las limitaciones de accesibilidad en algunas áreas, buscando disminuir los impactos provocados por la apertura de brechas para llegar; esta evaluación la desarrollaron durante un lapso de siete años.

La implementación de parcelas permanente para evaluar los cambios (incrementos) en un rodal se hace más eficiente que el uso de otros métodos ya que los errores de muestreo se disminuyen, esto gracias las estimaciones de cambio, aunado a ellos se pueden considerar aspectos antes mencionados como, el rendimiento, la mortalidad, la incorporación a categorías aprovechables y más parámetros medibles (Avery y Burkhardt, 1992). Para la estimación del crecimiento se puede considerar la medición de los sitios de muestreo en dos momentos diferentes, se podría hacer con sitios temporales, pero esto nos podría agudizar el error estándar; con el establecimiento de las parcelas permanentes se logra tener estimaciones más confiables del crecimiento y nos permite observar algunos otros cambios como los que se mencionaron anteriormente (Avery y Burkhardt, 1992).

Para el establecimiento y desarrollo del presente trabajo se consideró la metodología propuesta por Avery y Burkhardt (1992) esta metodología nos permite conocer los incrementos volumétricos durante un período de tiempo y al mismo tiempo considerar aspectos como la sobrevivencia; el crecimiento interno; la mortalidad; y de ser el caso el volumen de cortado a causa de una intervención silvícola.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar los cambios estructurales en diámetro de *Abies religiosa*, así como con la vegetación asociada, en dos condiciones altitudinales del Pico de Tancítaro en un lapso de un año (2018 - 2019), También se

compararon los Incrementos Corrientes Anuales (ICA), utilizando las secuelas de la cálculo propuesta por Avery y Burkhart (1992) en las dos condiciones, la evaluación de los rodales se hizo con el uso de sitios permanentes para una mejor confiabilidad.

Este documento también servirá como fuente de información para el establecimiento de nuevos experimentos; será fuente de información para los pobladores de la Comunidad Indígena de Santa Ana Zirosto, logrando de esta manera concientizarlos de los recursos con los que cuentan y la importancia de los mismos, así como comprender el comportamiento de su bosque; el establecimiento de estos sitios permanentes también apoya como parte de un buen manejo forestal en posibles procesos de certificación.

1.1. Objetivos e hipótesis

Objetivos:

Analizar los cambios de estructura en diámetro, en el período 2018-2019 en *Abies religiosa* (Kunth) Schltl. et Cham. y su asociación vegetal leñosa en dos condiciones altitudinales en el Pico de Tancítaro.

Comparación de Incremento Corriente Anual (ICA) de dos rodales (Los Pinos y Tirimicuaro) a través de secuelas de cálculo propuesta por Avery y Burkhart (1952) para *Abies religiosa* (Kunth) Schltl. et Cham. y su asociación vegetal en dos Condiciones Altitudinales en el APFF Pico de Tancítaro.

Hipótesis 1:

H₀: el Incremento Corriente Anual en *Abies religiosa* en el período julio de 2018 a julio de 2019 entre dos condiciones altitudinales no tiene diferencias significativas a un año de establecidos los sitios permanentes.

H_a: el Incremento Corriente Anual en *Abies religiosa* en el período julio de 2018 a julio de entre dos condiciones altitudinales tiene diferencias significativas a un año de establecidos los sitios permanentes.

Hipótesis 2:

H₀: el Incremento Corriente Anual de los rodales en el período julio de 2018 a julio de entre dos condiciones altitudinales no tiene diferencias significativas a un año de establecidos los sitios permanentes.

H_a: el Incremento Corriente Anual de los rodales en el período julio de 2018 a julio de entre dos condiciones altitudinales tiene diferencias significativas a un año de establecidos los sitios permanentes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área de estudio

El presente estudio se desarrolló dentro de los terrenos forestales de la Comunidad Indígena de Santa Ana Zirosto, para llegar se debe seguir la siguiente ruta; una vez localizado en la ciudad de Uruapan, se toma la carretera Uruapan Carapan/México 37 durante 18.7 km, girar a la izquierda en la desviación Carapan-Los Reyes y tomar la carretera Los Reyes-Uruapan/ T. C. (Carapan – Playa Azul) – Peribán de Ramos durante 32.6 km, de ahí tomar la desviación hacia la izquierda, rumbo a la Comunidad Indígena Santa Ana Zirosto durante un kilómetro y medio. Una vez localizado en la comunidad, tomar el camino de terracería ubicado hacia el sur, conocido como rumbo a Tirimicuaro durante nueve kilómetros, al llegar a este punto al lado izquierdo del camino se localiza el rodal llamado Tirimicuaro, para llegar al rodal de Los Pinos se sigue por el mismo camino con el rumbo de “La tepoja” o “El tambo” durante tres kilómetros, hasta localizarse en el paraje “Los Pinos” en donde se localiza el rodal Los Pinos (Figura 1).

La comunidad Indígena de Santa Ana Zirosto se encuentra localizada en el municipio de Uruapan, Michoacán de Ocampo, en las coordenadas extremas de Longitud 102°21'23.2788" 102°17'17.7810 Oeste y de Latitud 19°26'20.6520" 19°34'56.4456" Norte. El grado de marginación de la comunidad donde se consideran parámetros como porcentajes de población analfabeta, disponibilidad de servicios básicos, entre otros aspectos es alto tanto para el 2005 como para 2010, el grado de rezago social en donde se considera el acceso a servicios de salud, educación básica completa, disponibilidad de electrodomésticos y otros aspectos es bajo.

El rodal identificado como “Tirimicuaro” con una superficie de 27.23 ha, se encuentra en un rango altitudinal de 2640 a 2820 msnm, con una elevación media de 2730 msnm, en donde la vegetación predominante de coníferas, dentro del rodal se presenta una mezcla de vegetación entre *Pinus spp*, *Abies religiosa*, *Quercus spp* y *Salix paradoxa* Kunth principalmente. Mientras que el rodal identificado como “Los Pinos” con una superficie de 22.72 ha, cuenta con un rango altitudinal que va de los 3,080 a 3,300 msnm, con una elevación media de 3,190 msnm, en donde la vegetación predominante es *Abies religiosa* y *Pinus rudis*. Ambos se encuentran localizados dentro del ANP Pico de Tancítaro (Figura 2).

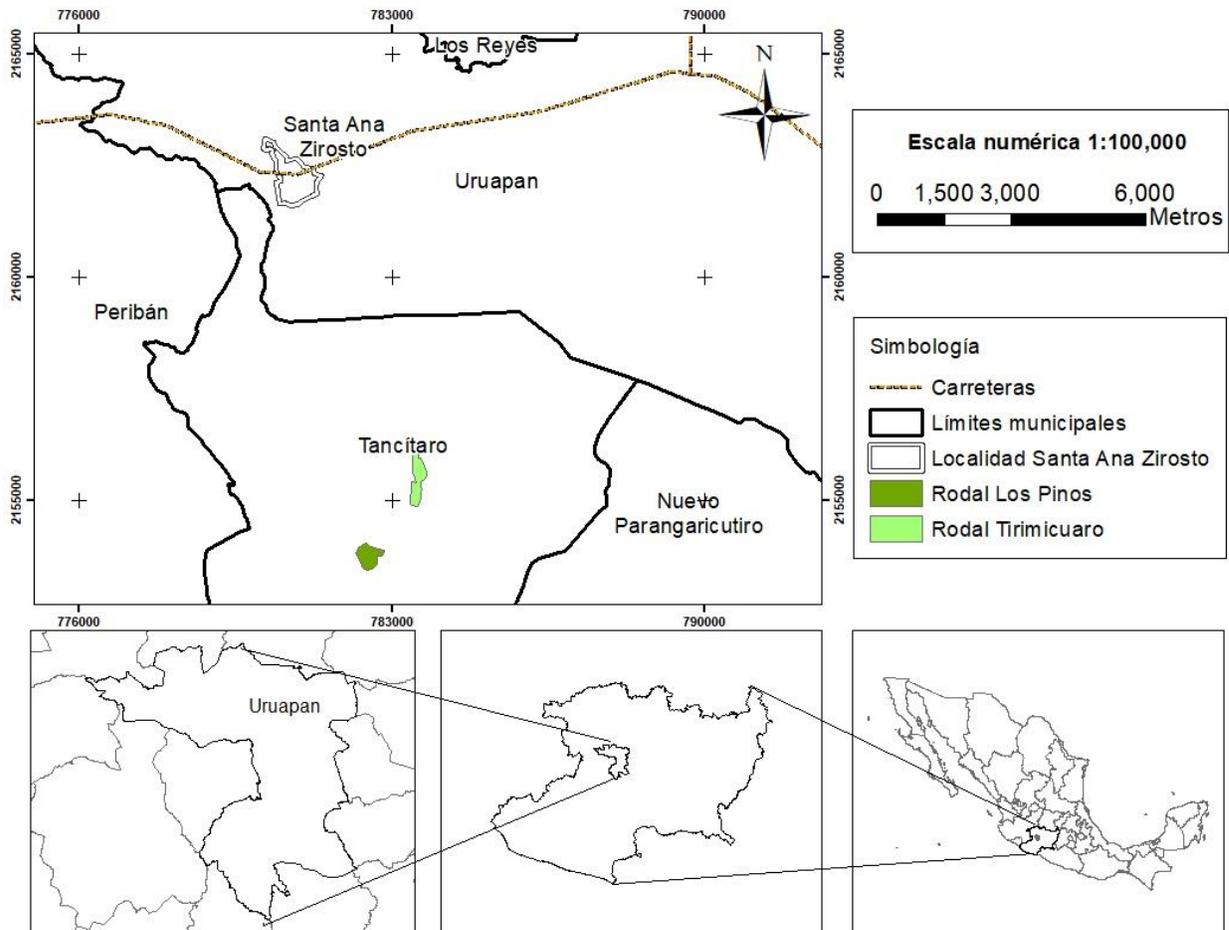


Figura 1. Localización de las áreas de estudio dentro del APFF Pico de Tancitaro, ubicadas en los terrenos de la comunidad Indígena de Santa Ana Zirosto, Municipio de Uruapan, Michoacán.

2.2. Diseño de muestreo y establecimiento de sitios permanentes

Para el desarrollo de este trabajo se delimitaron dos rodales, la delimitación de estos rodales se realizó buscando que las condiciones como cobertura y exposición condiciones permanentes en la vegetación fueran homogéneas, para así poder desarrollar un muestreo representativo. Una vez delimitados los rodales se procedió a implementar un diseño de muestreo sistemático con un punto aleatorio, esto con la finalidad de evitar sesgos y obtener una mayor representatividad e información más fehaciente del área de estudio (Avery y Burkhart, 1992). En el rodal Los Pinos se establecieron 10 sitios y en el rodal Tirimicuaro 16 sitios.

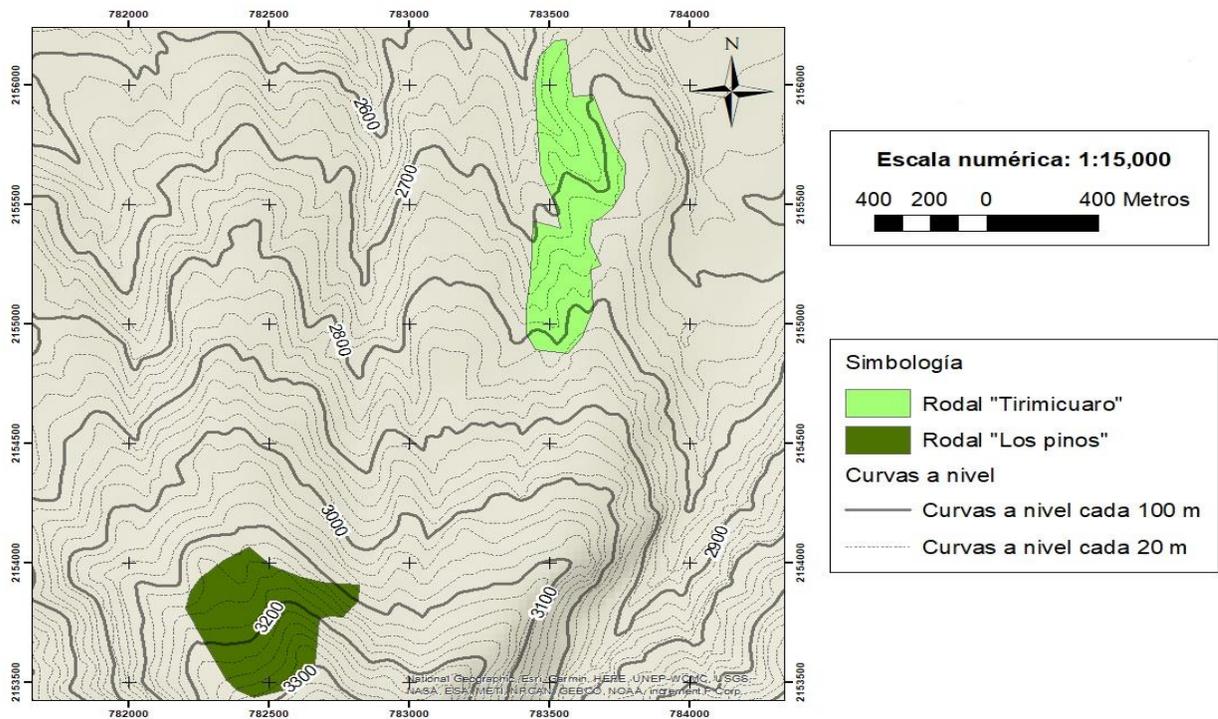


Figura 2. Localización de los rodales de estudio dentro del APFF Pico de Tancítaro, ubicados en los terrenos de la comunidad Indígena de Santa Ana Zirosto, Municipio de Uruapan, Michoacán.

En julio de 2018 se establecieron sitios permanentes circulares y concéntricos en un área de 0.1 ha, considerando a un árbol como centro del sitio, en el primer sitio de 1000 m² se, identifico cada árbol que tuviera diámetro normal (DN) igual o mayor a la categoría de 15 cm con un número de identificación y capturando de la misma manera el azimut correspondiente; en donde se evaluaron variables dendrométrica como: el DN, la altura, cobertura y grosor de corteza. En el segundo sitio concéntrico de 250 m, se evaluaron las mismas variables, pero para diámetros que van de 5 a menos de 15 cm de categoría diamétrica. En julio de 2019 se realizó la remediación de los sitios establecidos en el 2018, en esta remediación se midieron todos los diámetros y cortezas; mientras que las alturas y coberturas del rodal Los Pinos solo se tomaron representativas por sitio, de árboles dominantes, de diámetros mayores, medios y menores. En el rodal Tirimicuaro se tomaron todas las alturas en la remediación de julio de 2019.

En el rodal Tirimicuaro la distancia entre sitios fue de 125 m y la distancia entre filas fue de 120 m; mientras que para el rodal Los Pinos la distancia entre sitios fue de 140 m y entre filas de 145 m. con una intensidad de muestreo para el rodal Los Pinos de

5% y 5.87 para el rodal Tirimicuaro. Todas las estimaciones se hicieron con un 5% de error y un 95% de confiabilidad.

2.3. Secuela de estimación de incrementos

Una vez obtenidos los datos de las variables dasométricas antes mencionadas, se organizó la base de datos, donde se revisaron datos aberrantes (errores de captura), con el fin de poder corregir errores y apreciaciones; hecho esto se procedió al manejo de las variables y por medio del uso de programa estadístico The SAS System for Windows 9.0, utilizando el procedimiento Proc Univariate.

Para estimar las alturas de los árboles en la remediación de 2019, se utilizaron cinco modelos de tipo exponencial solo para el rodal Los Pinos, considerando los modelos propuestos por Clutter *et al.* (1983), para las especies *Abies religiosa* y *Pinus rudis*, considerando las variables diámetro normal, altura y altura dominante considerando uno por especie. En la selección del modelo se seleccionaron los estadísticos r^2 , r^2 ajustada, suma de cuadrados, cuadrados medios del error y la raíz de los cuadrados medios del error. La ecuación para la estimación de alturas en el rodal Los Pinos fue $Y=B_0*(DP^{B_1})*(ALTD^{B_2})$ donde: Y= Altura total calculada; B_0 =parámetro uno; DP=diámetro a la altura del pecho; B_1 = parámetro dos; ALTD= Altura dominante y B_2 = parámetro 3 (Anexo 1).

Cabe mencionar que sólo en el rodal Tirimicuaro se tomaron todas las alturas, esto se hizo ya que los modelos de regresión para cálculo de alturas que se emplearon en este rodal, al momento de aplicarlo se podía observar un sesgo, en algunos modelos se subestimaban las alturas mientras que en el modelo que nos daba mejores parámetros al momento de elegir la ecuación que más se ajustaba, esta ecuación se veía influenciada por la altura dominante más de lo que se esperaba, por lo que se sobre estimaban los valores, es por ello que se decidió ir a campo y tomar las alturas que no se habían tomado.

Una vez que se contaba con toda la información dasométrica de campo y que se habían calculado la información faltante (altura de árboles en el rodal Los Pinos) se procedió a calcular el volumen por sitio para después obtener un promedio por hectárea en cada rodal, para el cálculo de el volumen de las diferentes especies se obtuvieron ecuaciones (Anexo 2) del SiBiFor (Sistema Biométrico para la Planeación del Manejo

Forestal Sustentable de los Ecosistemas con Potencial Maderable en México) (SiBiFor, 2016).

Para la estimación de los incrementos se empleó la metodología propuesta por Avery y Burkhart (1952). Para puntos permanentes siendo esta:

$$V_2 - V_1 = S - M$$

Donde:

V_2 = Volumen al final del período de crecimiento

V_1 = Volumen al inicio del período de crecimiento

S = Crecimiento de árboles sobrevivientes

M = Mortalidad

2.4. Estimación de probabilidad de cambio de categoría diamétrica

Para el desarrollo de esta metodología primero se organizó la información por especie y clase diamétrica (de menor a mayor), una vez organizado se procedió a determinar la categoría diamétrica para cada árbol, para hacer esta categorización se consideró la clase diamétrica inicial, después se realizó el análisis para identificar los cambios de la estructura del rodal por árbol, esto se hizo comparando la categoría diamétrica con la clase diamétrica final después de un año de evaluación; logrando así identificar los cambios en los individuos, si estos se presentaban, si permanecían en la misma clase diamétrica (sin cambio) o si había casos de muerte de los individuos. Se identificaron la totalidad de individuos perteneciente a cada clase diamétrica y se calculó la probabilidad de ocurrencia de cambio por categoría diamétrica (Anexo 3).

2.5. Estimación de incremento corriente anual (ICA)

Se organizan los dos datos por categoría diamétrica de mayor a menor, en las columnas contiguas se pone el número de árboles por hectárea obtenido del inventario forestal; clase diamétrica al final de un año de medición, volumen en metros cúbicos de la primera medición; volumen en metros cúbicos después de un año de medición; y la probidad de cambio de clase diamétrica, esta probabilidad se calcula restando la clase diamétrica después de un año de medición la categoría del árbol, si el valor es igual no hubo cambio y si es diferente, la diferencia son los centímetros de cambio. Si dentro de

una categoría se presenta más de un individuo con diferente cambio se calcula la probabilidad de cambio por individuo; cuidando que al sumar las probabilidades de cambio para la categoría sea de uno. Con esta información se calculó el número de árboles por hectárea por clase diamétrica (Anexo 4 y 5).

Se calcula el número de árboles por hectárea de las nuevas clase diamétricas, esto se obtiene multiplicando la probabilidad por el número de árboles por hectárea, la predicción del número de árboles por hectárea de la nueva clase diamétrica, para indicar como se desarrolló esta predicción supongamos que tenemos las columnas de cambio de categoría diamétrica como es: sin cambio, +1 cm, +2 cm, +3 cm... enumerados de 3, 4, 5, 6... respectivamente, considerando esto: se suma la columna 3 más el valor de la columna 4 de una línea abajo más el valor de la columna 5 de dos líneas abajo respecto de la columna 3, así hasta hacer la suma de todas las columnas referentes al cambio en categoría diamétrica (Anexo 5).

Se predice el volumen multiplicando la predicción del número de árboles por hectárea por el volumen por árbol correspondiente a la categoría diamétrica, así mismo se calcula el volumen 1 correspondiente al producto del número de árboles por hectárea del inventario por el volumen unitario correspondiente a la categoría diamétrica y se saca la diferencia de estos dos volúmenes (volumen 1 y volumen 2). Una vez hecho esto se obtiene la sumatoria de los volúmenes 1 y 2 así como la de su diferencia, la sumatoria de la diferencia de volúmenes corresponde al incremento (Anexo 5).

2.6. Análisis estadístico en comparación de incrementos

Cuando se trata de hacer la comparación de dos situaciones o condiciones, para saber si hay diferencias significativas se puede hacer uso de la estadística. Los investigadores comúnmente se encuentran con estas situaciones, logrando resolverlo por medio de la comparación de medias (Zar, 2010). Cuando se desea conocer si hay diferencias significativas en alguna variable medible entre dos poblaciones se puede hacer la comparación de medias, sometiendo la información a una prueba de hipótesis (Steel y Torrie, 1985). A continuación, se muestra la metodología propuesta por (Jayaraman, 1999).

Calcular el valor estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left[\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right]}}$$

Calcular un valor t tabular ponderado (t') para compararlo con el valor de t calculado

$$t' = \frac{w_1 t_1 + w_2 t_2}{w_1 + w_2}$$

Donde:

$$w_1 = \frac{s_1^2}{n_1}; \quad w_2 = \frac{s_2^2}{n_2}$$

Y así por medio de esta metodología se puede determinar si hay diferencias significativas entre las medias de las poblaciones considerando los valores de t calculada y t tabular ponderada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Probabilidad de cambio de categorías diamétricas en *Abies religiosa*

En la Figura 3 se pueden observar los cambios de categoría diamétrica en *Abies religiosa* en el rodal Los Pinos. Aunque fue en un lapso relativamente corto, si se pudieron observar cambios; las categorías con más cambios fueron: la de 30 pasando de 38 individuos representativos en el año 2018 a 41 en 2019 y la de 45 pasando de 27 a 30 individuos; mientras que las categorías que aparentemente no hubo cambios de categoría fueron: la de 15 con nueve individuos; 40 con 30 individuos; 65 con seis; y la de 80 con un individuo representativo. La mortalidad de los individuos evaluados fue de cero, esto probablemente se da ya que la especie es tolerante y que incluso requiere de sombra por parte de árboles nodriza en sus primeras etapas (Álvarez-Moctezuma *et al.*, 2007), por lo que se puede desarrollar en diferentes estratos (Figura 3).

En las primeras categorías diamétricas no se observa mucha dinámica en el cambio de categoría diamétrica, conforme va aumentando la categoría se presenta un mayor cambio de categoría diamétrica (crecimiento) esto coincide con lo que encontró Klepac (1983), en un bosque de *Abies* en Yugoslavia, medido en 1954. Este incremento va disminuyendo conforme va aumentando la categoría diamétrica esto concuerda con la cuarta ley del crecimiento biológico que menciona que el crecimiento se puede ver limitado por aspectos, como la edad, situaciones específicas del sitio en donde se desarrolla la especie, observando que la curva de crecimiento se da de forma sigmoideal generalmente (Imaña *et al.*, 2008).

El comportamiento de cambio de categoría diamétrica en el rodal Los Pinos es específico del mismo; ya que las especies forestales con amplia distribución geográfica pueden presentar diversidad en el comportamiento de crecimiento, esto se puede observar debido a las capacidades que puede presentar la especie a la aclimatación y/o adaptación a las condiciones físico-biológicas que se presentan en el área donde se desarrollan (Benavides-Meza *et al.*, 2011).

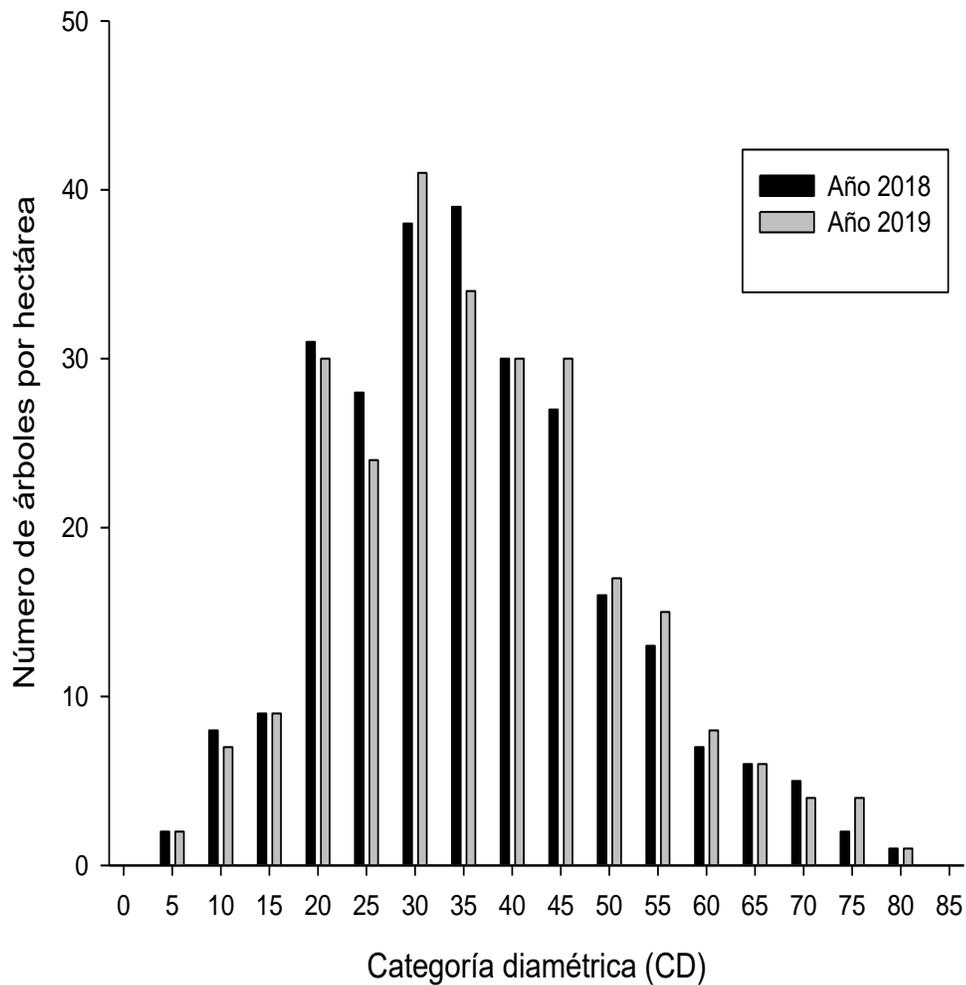


Figura 3. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica de la especie *Abies religiosa* en el rodal Los Pinos, ubicado en el APFF Pico de Tancítaro.

En el rodal Tirimicuaro el *Abies religiosa* tuvo un comportamiento diferente al rodal Los Pinos, primero se puede observar la diferencia de individuos por hectárea en las categorías diamétricas de *Abies religiosa* del rodal Tirimicuaro respecto al rodal Los Pinos. En la Figura 4 se puede observar que los cambios se presentaron en las primeras categorías diamétricas, mientras que para las categorías mayores no se observaron cambios, también se puede observar que en la categoría diamétrica de 15 y 35 en el año 2018 no había individuos representativos, mientras que para el 2019 ya hay individuos en estas categorías, esto coincide con lo que encontró Klepac (1983), en donde se muestra que en condiciones normales el desarrollo de diámetro y altura de un individuo es mayor en sus primeros años y conforme aumenta su edad disminuye el crecimiento en sus dimensiones, es por ello que los cambios de categoría y aparición de representantes en categorías pequeñas se puede observar, no se observó muerte de los

individuos evaluadas es posible que esto sea gracias a la tolerancia de la especie a la sombra (Álvarez-Moctezuma *et al.*, 2007) (Figura 4).

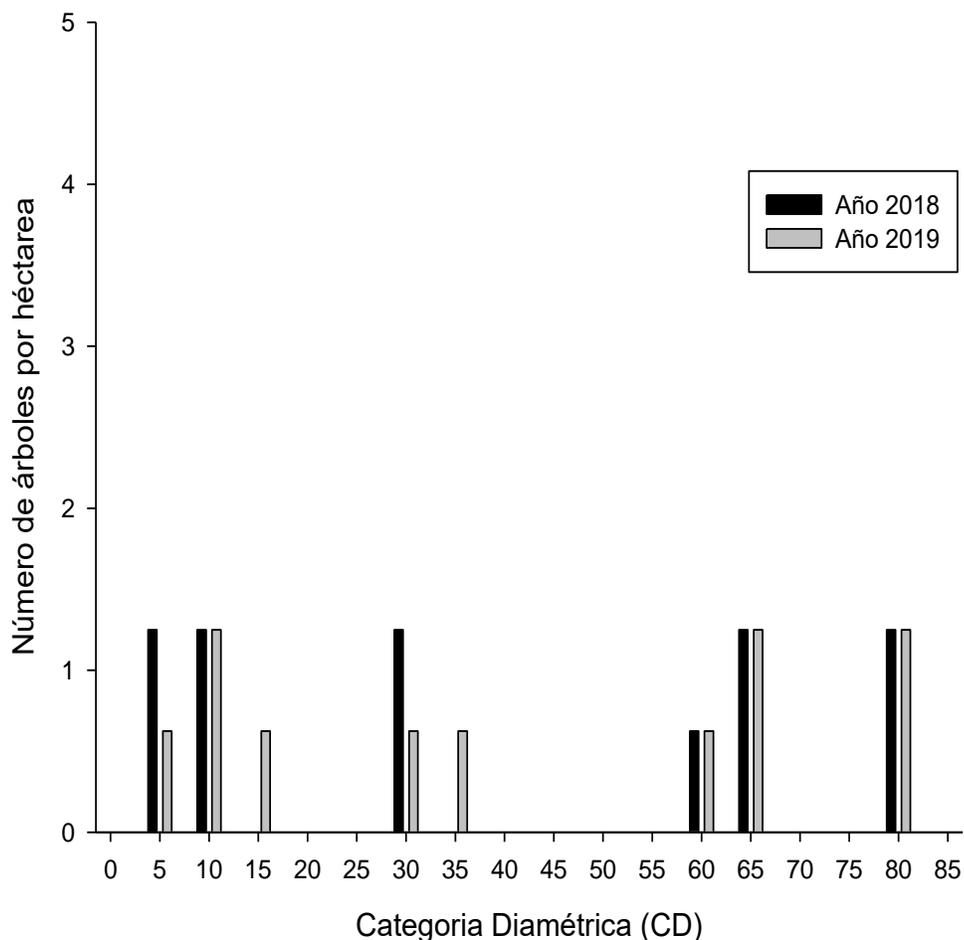


Figura 4. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica de la especie *Abies religiosa* en el rodal Tirimicuaro, ubicado en el APFF Pico de Tancítaro.

La disminución de la representación del *Abies religiosa* en el rodal Tirimicuaro es probable que sea a causa del cambio en el gradiente altitudinal, considerando que para los extremos de los gradientes altitudinales se puede presentar alguna condición, como cambios en el clima, y estrés hídrico, a causa de esto se ve afectada la capacidad reproductiva de la especie (Lopez-Toledo *et al.*, 2017). También la ocurrencia de la especie se ve condicionada por la estructura del rodal, por la ocupación del espacio, la diversidad de especies que se desarrollan en está y el acomodo que tienen (Del Río *et al.*, 2003). Las plantas nodrizas también pueden ser un factor detonante o la ausencia de las adecuada un factor limitante, es importante conocer el porcentaje de humedad que el

Abies requiere para el desarrollo, el porcentaje de luz que brinda la planta nodriza y el uso de los recursos disponibles (Cruz-Bolaños *et al.*, 2018).

3.2. Probabilidad de cambio en los rodales

En la figura 5 podemos observar el acomodo estructural del rodal Los Pinos; en donde se consideraron las especies asociadas al *Abies* y el *Abies*. Podemos observar que los cambios de categoría diamétrica se dieron desde la categoría de 10 hasta la de 85, a excepción de la 50 y 65 donde no hubo cambios en el número de individuos de un año a otro; en las categorías de 30, 45 y 55 hubo un aumento de tres individuos del año 2018 para el 2019, también podemos observar que la estructura diamétrica del *Abies religiosa* es muy parecida a los cambios diamétricos en el rodal, esto debido a que el *Abies religiosa* domina en un 77.5%. Observemos también que la categoría de 85 se ve representada en el año 2019 y no así en 2018 (Figura 5). También es bueno mencionar que este rodal no hubo muerte de árboles evaluados, como anteriormente se mencionó es probable que esto se dé gracias a la capacidad de desarrollo del *Abies religiosa* bajo dosel y que el rodal se ve dominado por esta especie.

Los cambios de categoría diamétrica en el rodal Tirimicuaro se pueden observar en la mayoría de las categorías diamétricas ya sea con el incremento o decrecimiento del número de individuos representantes de las categorías; siendo más evidente en las categorías de 20 y 65, presentándose un incremento de tres y dos individuos respectivamente, entre el año 2018 y 2019, los cambios en las categorías mayores a 80 fueron menos perceptibles. Si comparamos la estructura diamétrica del *Abies religiosa* en el rodal Tirimicuaro, con la estructura diamétrica del rodal Los Pinos, podemos observar que no presentan similitudes, es posible que esto se deba a que hay una mayor mezcla de especies ya que el *Abies* ocupa sólo un 3.2% del total del arbolado (Figura 6). Aunque en la gráfica no se puede observar, en este rodal se presentó la muerte de individuos de las especies *Salix sp.* y *Quercus Sp.* el motivo de sus muertes fue a causa de vientos.

Es común encontrarse en la naturaleza el comportamiento de acomodo estructural de “j invertida” que corresponde a un bosque irregular equilibrado, como el que presenta el rodal Tirimicuaro, en donde se puede observar un mayor número de individuos en las categorías diamétricas menores y conforme van aumentando las categorías el número de individuos representativos va en disminución (Návar-Cháidez, 2010).

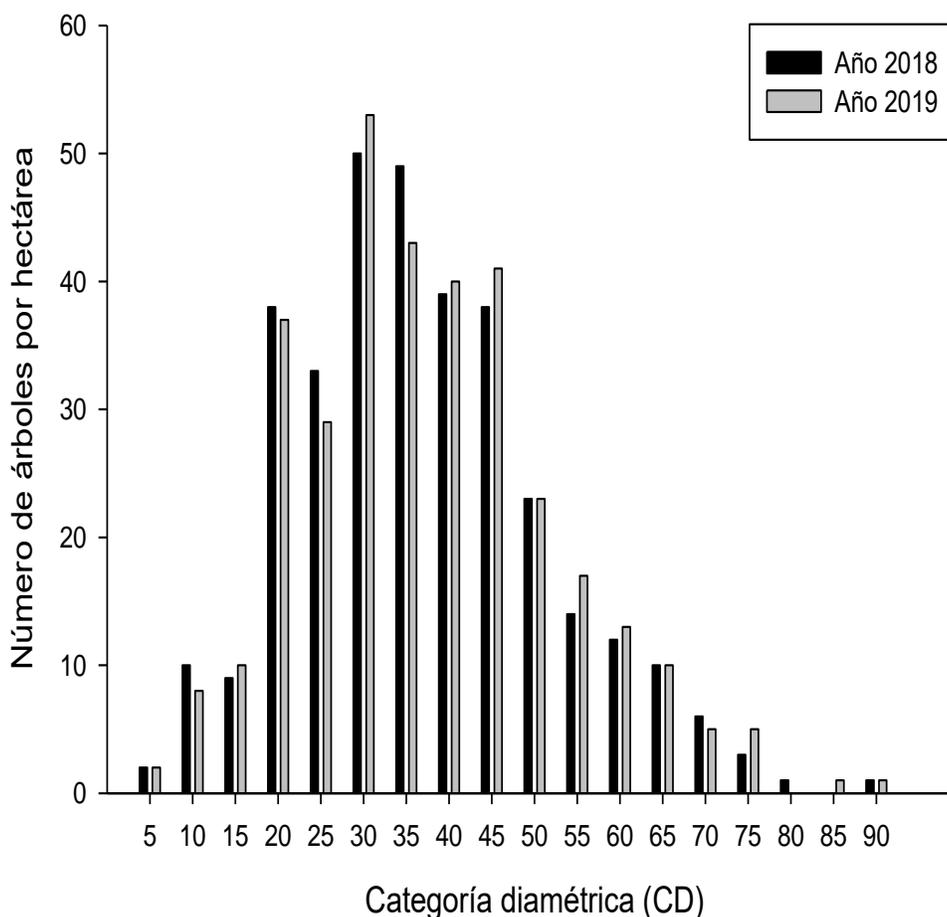


Figura 5. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica del rodal Los Pinos, considerando todas las leñosas ubicado en el APPF Pico de Tancitaro.

3.3. Descripción de incrementos corriente anual entre rodales

En el rodal Los Pinos se encontró un ICA/ha en *Abies religiosa* de 14.29 m³, mientras que el rodal Tirimicuaro fue de 4.13 m³, en estudios como el DTU (2008), desarrollado también en el APPF Pico de Tancitaro para el aprovechamiento forestal maderable en la comunidad indígena de San Salvador Combutzio (Calyzonzin), se observaron ICA's menores a 1 m³ por ha, en las unidades mínimas de manejo, en donde se observaba mayor número de especies, con un ICA máximo alcanzando en una Unidad Mínima de Manejo (UMM) de 9.432 m³ por ha, por lo que podemos suponer que el rodal Los Pinos cuenta con una buena calidad de sitio y que en el rodal Tirimicuaro el *Abies* presenta un menor ICA debido a su baja presencia. También se puede observar en algunos lugares valores altos de ICA para *Abies*; como en el Estado de Tlaxcala, en donde se pueden observar valores de ICA por encima de los 14 m³ por ha (SyCAF, 2013).

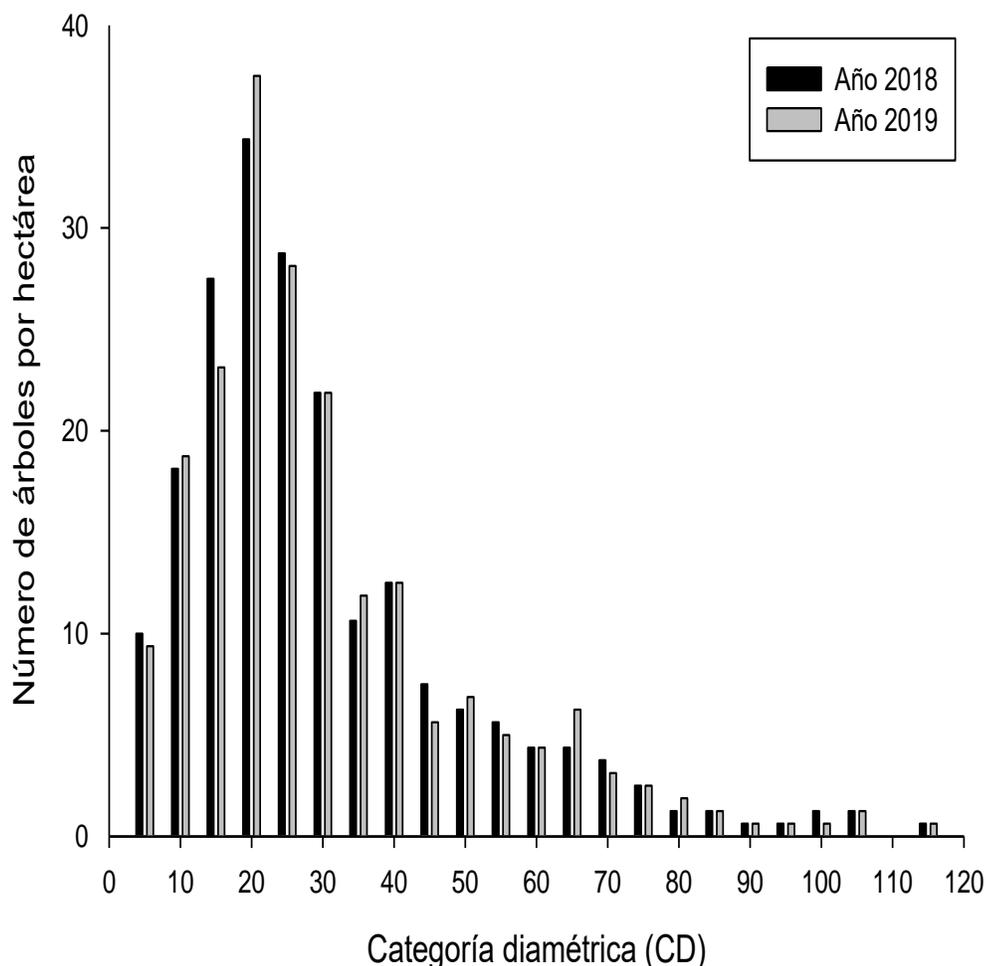


Figura 6. Estructura diamétrica en la evaluación 2018 y 2019 que indica el cambio de estructura diamétrica del rodal Tirimicuaro, considerando todas las leñosas ubicado en el APFF Pico de Tancitaro.

El monitoreo de los incrementos de un bosque y en este caso del ICA permite hacer investigaciones de tipo silvícola, de manejo forestal, ecología, y otras áreas más, también esta información nos permite la formulación de modelos complejos de predicción, para la toma de decisiones con probabilidades de ocurrencia de eventos (Ramirez, 2018). Ya que el incremento en diámetro está íntimamente relacionado con el aumento volumétrico, pudiendo así determinar turnos u obtener el mejor rendimiento del bosque (Ramirez, 2018). El monitoreo del comportamiento y cambios en el bosque del APFF Pico de Tancitaro, son fundamentales para el desarrollo de las poblaciones que de este se sirven, ya que se puede hacer un mejor manejo y aprovechamiento de sus recursos (Hernández, 2014).

Cuadro 1. Volúmenes e incrementos de los dos rodales con *Abies religiosa* en interacción con otras especies, en el APFF Pico de Tancítaro.

Rodal	Los Pinos	Tirimicuaro
Volumen total del rodal/ha (m ³) año 2018	468.021531	128.487427
Volumen total del rodal/ha (m ³) año 2019	485.18704	138.889624
Volumen de <i>Abies religiosa</i> /ha (m ³) año 2018	328.2305705	15.95367463
Volumen de <i>Abies religiosa</i> /ha (m ³) año 2019	342.5208533	16.77406059
ICAV/ha para <i>Abies religiosa</i>	14.2902828	1.3219467
% ICAV/ha para <i>Abies religiosa</i>	4.27539786	4.04680266
ICAV/ha total del rodal	16.5745182	10.4041249
% ICAV/ha total del rodal	3.4300848	10.2310647

ICAV/ha= Incremento corriente anual en volumen por hectárea; %ICAV/ha= Porcentaje de Incremento corriente anual en volumen por hectárea.

3.4. Diferencias Incremento corriente anual entre rodales

Con el procesamiento de los datos para saber si había diferencias significativas en el incremento corriente anual para *Abies religiosa* entre los rodales, se puede observar un valor de t calculada de 7.96 y un valor de t ponderada de 1.85 con base en esto se puede decir que hay diferencias significativas en el incremento corriente anual de *Abies religiosa* entre los dos rodales (Cuadro 1) (Figura 7). De la misma manera se puede decir que hay diferencias estadísticas en el incremento corriente anual entre los rodales, ya que el valor de t calculada fue de 3.54 mientras que el de t ponderada fue de 1.77 (Cuadro 1) (Anexo 6) (Figura 8).

Las diferencias en incremento corriente anual en *Abies religiosa* entre el rodal Los Pinos y el rodal Tirimicuaro que fueron de 14.290 m³/ha y 1.322 m³/ha respectivamente son significativos; ya que el valor de t calculada fue de 7.964 superando al valor de t ponderada que fue de 1.857 (Anexo 6). Por lo que se puede inferir con un 95% de confiabilidad que si hay diferencias significativas (Figura 7).

En la Figura 8 se observan las diferencias en incremento corriente anual en entre el rodal Los Pinos y el rodal Tirimicuaro que fueron de 16.575m³/ha y 10.404 m³/ha respectivamente son significativos.

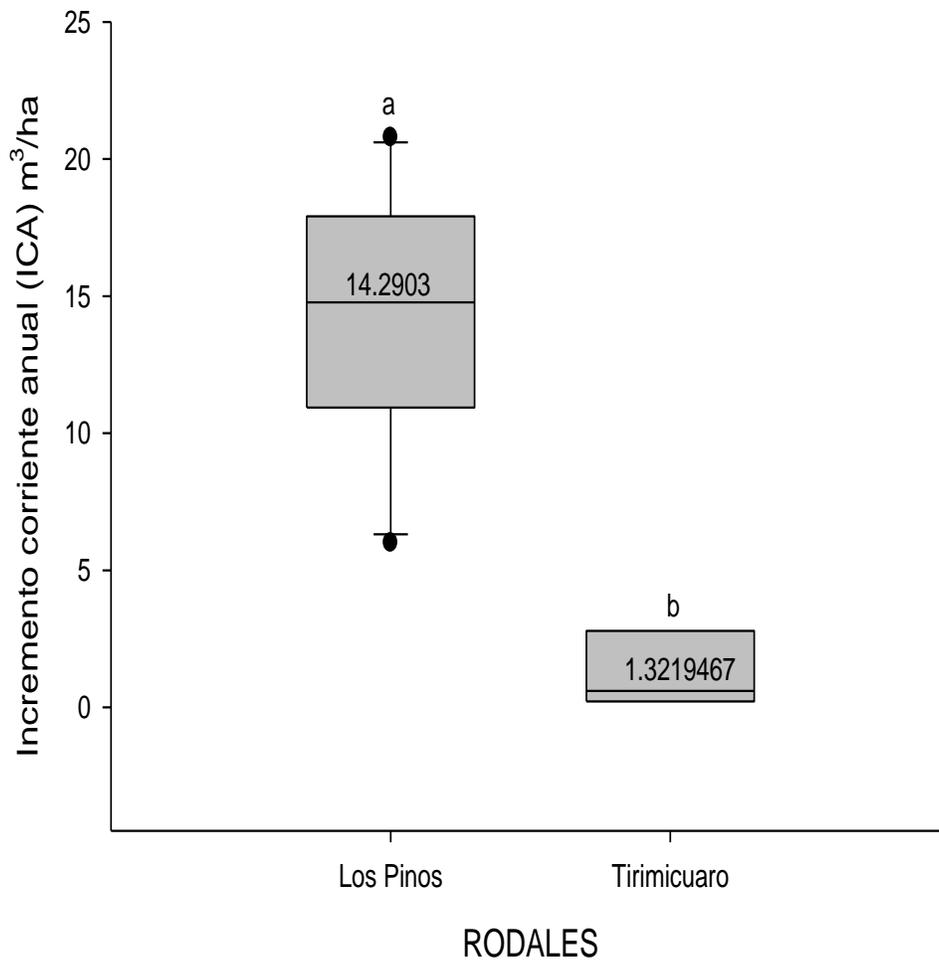


Figura 7. Comparación de incremento corriente anual (ICA) en m^3/ha en *Abies religiosa* entre los rodales Los Pinos y Tirimicuaro, ubicados en el APFF Pico de Tancítaro. Las calificaciones promedio con letra diferente denotan diferencias entre los rodales, según la prueba de comparación de medias ($\alpha=0.05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%.

Sánchez (2019) refiere que la población de Los Pinos y Tirimicuaro no comparten mucha similitud. Es probable que estas diferencias se den a causa de las variaciones que se presentan en un ecotono (zona de transición entre un tipo de vegetación y otra).

Se puede observar que la diferencia en el ICA entre los rodales, respecto a las diferencias que se observaron en el ICA en donde solo se consideró *Abies* se vio disminuido, esto gracias a que se consideraron todas las especies leñosas, aun y así se pueden observar diferencias significativas estadísticamente del ICA entre los rodales (Figura 8).

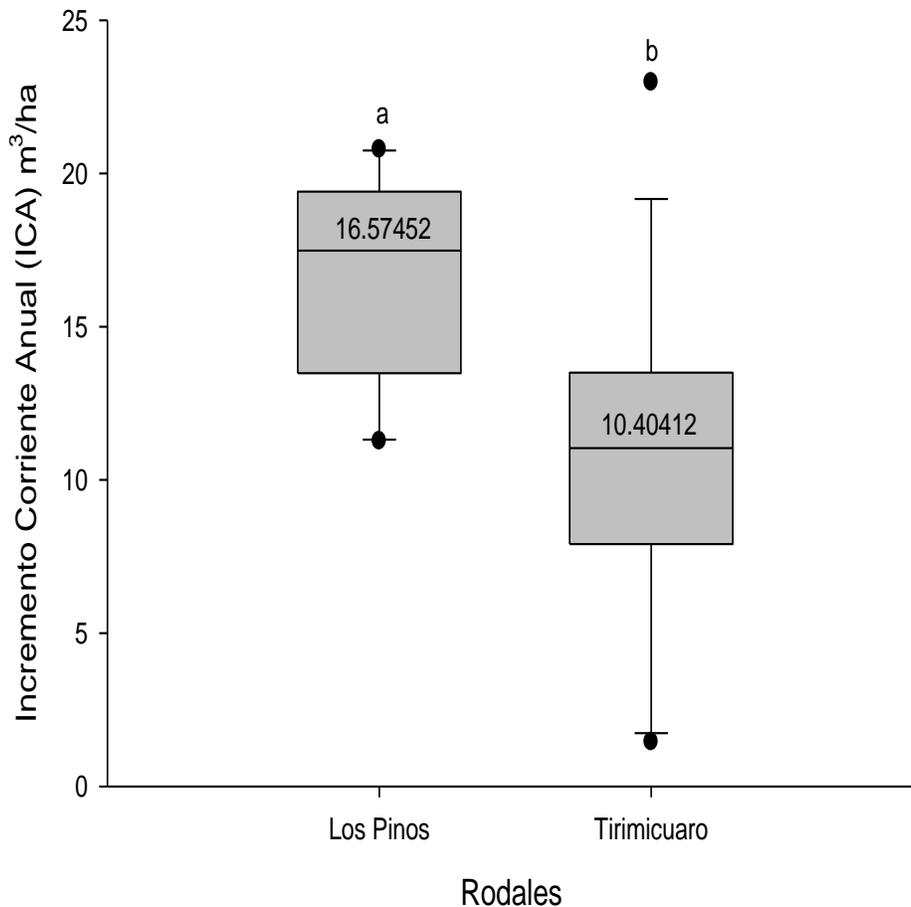


Figura 8. Comparación de incremento corriente anual (ICA) en m³/ha entre los rodales Los Pinos y Tirimicuaro, ubicados en el APFF Pico de Tancítaro. Las calificaciones promedio con letra diferente denotan diferencias entre los rodales, según la prueba de comparación de medias ($\alpha=0.05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%.

Estas diferencias se ven disminuidas gracias a que, aunque la presencia de *Abies* se ve disminuida por restricciones como altitud, clima y otros factores, la presencia de otras leñosas contribuye al incremento en el rodal Tirimicuaro, ya que aquí comienza las condiciones que permiten el desarrollo de estas especies (Rzedowski, 2006).

Las diferencias en la presencia de *Abies* entre el rodal Tirimicuaro y el rodal Los Pinos se puede deber en gran parte a la variación clinal que se puede presentar en el área (Cerano *et al.*, 2014). Esto se ve compensado con la aparición de diversas especies de pinos y otras hojosas.

4. CONCLUSIONES

La estructura de los rodales Tirimicuaro y Los Pinos presentaron cambios; tanto para la especie de *Abies* como para las especies asociadas. El rodal Tirimicuaro presentó una distribución irregular equilibrada y el rodal Los Pinos una distribución unimodal.

La comparación de los incrementos en *Abies* en los dos rodales y de las especies asociadas presentó diferencias significativas, siendo más evidentes en la comparación de los incrementos en *Abies*.

Se rechaza la hipótesis nula número uno, ya que sí se observaron diferencias significativas entre el Incremento Corriente Anual en la especie *Abies religiosa* en dos condiciones altitudinales a un año de establecidos los sitios permanentes en los rodales Los Pinos y el rodal Tirimicuaro.

Se rechaza la Hipótesis nula número dos, ya que sí se observaron diferencias significativas entre el Incremento Corriente Anual en todas las especies leñosas de dos condiciones altitudinales a un año de establecidos los sitios permanentes en el rodal Los Pinos y el rodal Tirimicuaro.

5. RECOMENDACIONES

Para el cálculo y predicción de alturas faltantes en árboles forestales se pueden encontrar diversas ecuaciones de predicción y que consideran variables como altura dominante y diámetro normal, pero también existen otras ecuaciones no consideradas en este trabajo donde se hace uso de aspectos como la edad, densidad del rodal, calidad de estación, competencia y de más aspectos (Clutter, *et al.*, 1983). En el presente trabajo las ecuaciones que se usaron, se determinaron, gracias a su factibilidad técnica y siendo la mejor en comparación con las otras que se probaron. Para el desarrollo de otros estudios recomienda la comparación de ecuaciones de predicción de altura, en donde se consideren más variables, logrando generar ecuaciones predictoras más precisas.

Los cambios en las categorías diamétricas en los rodales se pueden deber a diversos aspectos favorables o limitantes, como los extremos altitudinales, edad, especie, humedad, nutrientes, árboles nodriza, competencia y/u otros que no se han considerado en este estudio. Es por ello que si se desea abundar más en el tema se recomienda hacer investigaciones correspondientes a los temas ya mencionados.

Si se desea desarrollar con más detalle los cambios en estructura de la especie de *Abies* o de los dos rodales en general, se recomienda hacer evaluaciones complementarias y/o emplear metodologías propuestas para dicho fin.

6. LITERATURA CITADA

- Aguilar C., L. F. 2016. Crecimiento e incremento en volumen y área basal en sitios permanentes de cuatro poblaciones de manglar en Tecomán, Colima. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 81 p.
- Aguilar R., M. y B. A. Villa S. 1995. Rutinas de cálculo de once métodos para determinar el incremento en volumen de coníferas. *Revista Ciencias Forestales en México*. 20 (77): 151-192.
- Alder, D.1981. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. 2. Commonwealth forestry institute, Reino Unido. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 209 p.
- Álvarez-Moctezuma, J. G., A. D. Ortiz-Reyes, J. Sahagún-Castellanos y A. Peña-Lomelí. 2007. Perfiles RAPD asociados con la resistencia a la intensidad lumínica alta en brinzales. *Revista Mexicana del Ciencias Forestales*. 3(12): 71-86.
- Avery, E. T. y H. E. Burkhardt. 1952. *Forest measurements*. McGraw-Hill. 5. New York. 456p.
- Beetson T., M. Nester y J. K. Vanclay. 1992. Enhancing a permanent sample plot system in natural forests. *Southern Cross University Library*. 41: 525-538.
- Benavides-Meza, H. M., M. O. Gazca G., S. F. López L., F. Camacho M., D. Y. Fernández G., M. P. de la Garza López de L. y F. Nepamuceno M. 2011. Variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schlecht. Et Cham., en condiciones de vivero. *Madera y bosques*. 17 (3): 83-102.
- Camacho C., M. 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Manual técnico número 42, Turrialba, Costa Rica. 52 p.
- Cerano P., J., J. Villanueva D., R. Cervantes M., L. Vázquez S., R. Trucios C. y V. Guerra de la C. 2014. Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. *Instituto de geografía, UNAM*. 83: 41-54.

- Cerano-Paredes, J., J. Villanueva-Díaz, R. Cervantes-Martínez, R. Trucios-Caciano y J. L. Guerrero-Soto. 2013. Reconstrucción de sequías fuertes en el parque nacional “Pico de Tancítaro”, Michoacán. *Revista Chapingo serie zonas áridas* 7 (2): 57-62.
- Clutter L., J., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister y R. L. Bailey. 1983. *Timber management a quantitative approach*. John Wiley y Sons. New York. 333 p.
- CONAFOR. 2017. *Manual para la elaboración de programas de manejo forestal maderable en clima templado frío*. Comisión nacional forestal. 138 p.
- CONAFOR. 2013. *Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad*. Comisión Nacional Forestal. 90 p.
- CONANP. (2001). *Programa de manejo de la reserva de la biosfera mariposa monarca*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-SEMARNAT. 138 p.
- Corral R., J. J. 2018. *Estimación de carbono en bosques bajo producción maderable*. Universidad Juárez del estado de Durango. 49 p.
- Corral-Rivas J. J., B. Vargas-Larreta, C. Wehenkel, O. A. Aguirre-Calderón y F. Crecente-Campo. 2013. *Guía para el establecimiento, seguimiento, y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales*. CONAFOR-CONACYT:93 p.
- Corral-Rivas J. J., B. Vargas-Larreta, C. Wehenkel y O. A., Aguirre-Calderón. 2008. *Guía metodológica para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en el estado de Durango*. Universidad Juárez del Estado de Durango. 625-631.
- Corral-Rivas S. y J. J. Návar-Cháidez. 2005. *Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México*. *Madera y bosques* 11(1): 29-47.
- Cruz-Bolaños E., D. Maldonado-de León, J. V. Martínez-Arévalo y A Cáceres. 2018. *Bioactividad de extractos de seis especies vegetales nodrizas de bosques de pinabete (Abies guatemalensis Rehder) de Ixchiguán, San Marcos, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud* 5(1): 7-15.

- Cuevas-Guzmán, R., E. A. Cisneros-Lepe, E. J. Jardel-Peláez, E. V. Sánchez-Rodríguez, L. Guzmán-Hernández, N. M. Núñez-López y C. Rodríguez-Guerrero. 2011. Análisis estructural y de diversidad en los bosques de *Abies* de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:1219-1233.
- Del Río, M., F. Montes, I. Cañellas y G. Montero. 2003. Revisión: índices de diversidad estructural en masas forestales. Madrid. España. *Investigación Agraria: Sistema Recursos Forestales* 12 (1): 159-176.
- Díaz B., J. A. 2002. Aclareos en una regeneración natural de *Pinus rudis* Endl. En San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 71 p.
- DTU. 2008. Documento técnico unificado de aprovechamiento forestal, en la Comunidad indígena de Caltzontzin. Michoacán. México. 234 p.
- Eguiarte F., L. E., G. R. Furnier, E. Aguirre P. y A. Keiman F. 1997. Niveles y patrones de variación genética en el género de *Abies* en México. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 50 p.
- Espinoza B., M., J de la L. Sánchez P., J. A. Vidales F., J. T. Sáenz R., J. G. Chavéz L., S. Madrigal H., H. J. Muñoz F., L. M. Tapia V., G. Orozco G., J. J. Alcántar R., I. Vidales F. y E. Venegas G. 2009. Impactos sociales y socioeconómicos del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de investigación regional pacífico centro, campo experimental Uruapan. Publicación especial número 2: 88 p.
- FSC. 2010. Estándares mexicanos para la certificación del manejo forestal FSC. Sociedad para la promoción del manejo forestal sostenible, Consejo de administración forestal, México. 68 p.
- Fuentes J., J. de J. A. 2002. Cuenca y áreas naturales protegidas: integrado de los recursos naturales en el Pico de Tancítaro, Michoacán. *Gaceta Ecológica*. 64: 35-71.
- Gallardo-Salazar, J. L., D. A. Rodríguez-Trejo y S. Castro-Zavala. 2019. Calidad de plantas y supervivencia de una plantación de oyamel [*Abies religiosa* (Kunth)

- Schltdl. *Et Cham.*] de dos procedencias en México central. *Agrociencia* 53: 631-643.
- García C., I. X., L. Almeida L. y V. Ávila-Akerberg. 2016. Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México. *Teoría y Praxis* 19: 65-93.
- Gómez J., C. A. 2017. Establecimiento de sitios permanentes de investigación o monitoreo forestal y de suelos en el bosque bajo manejo de la región Selva Zoque de Chiapas. A.R.S. Selva Zoque A. C. 30 p.
- Hernández G., M. R. 2014. Programa de manejo de Área de protección de flora y fauna Pico de Tancítaro. Primera edición. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Impreso y hecho en México, en los talleres de Amelia Hernández Ugalde/SEPRIM HEUA730908AM1. México. 196 p.
- Imaña E., J. y O. Encinas B. 2008. Epidometría forestal. Universidad de Brasilia y Universidad de Los Ángeles. 66 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1995. Producción Forestal en México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 181 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. El quinto reporte de evaluación del IPCC. ¿Qué implica para Latinoamérica? Resumen ejecutivo. Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático. 40 p.
- Jayaran, K. 1999. A statistical manual for forestry research. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok. 234 p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 279 p.
- Leyva-Ovalle, A., J. R. Valdez-Lazalde, H. M. de los Santos-Posadas, T. Martínez-Trinidad, J. A. Herrera-Corredor, O. Lugo-Espinosa y J. R. García-Nava. 2017.

- Monitoreo de la degradación en México con base en el inventario nacional forestal y de suelos (infys). *Madera y Bosques* 23 (2): 69-83.
- Lopez-Toledo, L., M. Heredia-Hernández, D. Castellanos-Acuña, A. Blanco-García y C. Saénz-Romero. 2017. Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in Western Mexico: implications of climate change. *New Forests* 48: 867-881.
- Martínez de S., J. y G. Sánchez. 2000. El proceso de cuantificación nacional de los sumideros de carbono en los sistemas forestales españoles. SPCAN-DGCN, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 5 p.
- McRoberts E., R., E. Tomppo O. y R. Czaplewski. 1992. Diseños de muestreo de las evaluaciones forestales nacionales. FAO. 21 p.
- Návar-Cháidez, J. J. 2010. Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y Bosques* 16(1): 51-69.
- Návar-Cháidez, J. J. y P. A. Domínguez-Calleros. 2013. Modelo de incremento y rendimiento: ejemplos y aplicaciones para bosques templados mexicanos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4(18): 8-27.
- Ortiz-Bibian, M. A., D. Castellanos-Acuña., M. Gómez-Romero., R. Lindig-Cisneros., M. Á. Silva-Farías y C. Sáenz-Romero. 2019. Variación entre poblaciones de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham a lo largo de un gradiente altitudinal. I. Capacidad germinativa de la semilla. *Fitotec. Mex.* 42 (3): 301-308.
- Pardo G., M. E., M. Astier C., J. Martínez C., R. Ayala B. y E, Ramírez G. 2012. Evaluación del impacto ambiental del impacto ecológico del cultivo de aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán: validación de indicadores ambientales en los principales tipos de producción. UNAM. Campus Morelia. 85 p.
- Pérez-Miranda, R., M.E. Romero-Sánchez, A. González-Hernández, E. Pérez-Sosa y E. Flores-Ayala. 2017. Distribución del *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. Y Cham. Bajo escenarios de cambio climático en el eje Neovolcánico, México. *Agroproductividad* 10 (8): 29-34.

- Prodan M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. San José. C.R. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (DCA). 586 p.
- Ramirez R., K. M. 2018. Etapas de crecimiento, incremento corriente anual e incremento medio anual de *Prunus serótina* Mcvaugh mediante dendrocronología, en los Distritos de Pilcomayo y Huamancaca Chico. Tesis para obtener título profesional de ingeniero forestal y ambiental, Huancayo, Perú. 83p.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Sáenz-Romero C., G. E. Rehfeldt, P. Duval y R. A. Lindig-Cisneros. 2012. *Abies religiosa* hábitat prediction change escenarios and implications for monarch butterfly conservation in México. Forest Ecology and Management. 275: 98-106.
- Sánchez T., J. 2019. Diversidad de especies arbóreas en gradiente altitudinal del Pico de Tancítaro, Santa Ana Zirosto, Uruapan, Michoacán. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 69 p.
- Schreuder, H. T., R. Ernst y H. R., Maldonado. 2006. Técnicas estadísticas para evaluación y monitoreo de recursos naturales. Universidad Autónoma Chapingo. 144 p.
- SEMARNAT. 2016. Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 4 p.
- SyCAF. 2013. Documento técnico unificado de aprovechamiento forestal, en el predio La fusión de las dos mitades de la fracción del monte Nanacamilpa. Tlaxcala. México. Servicio y Consultoría Ambiental y Forestal. 187 p.
- SiBiFor 2016. Biblioteca digital del sistema biométrico para la planeación del manejo forestal sustentable de los ecosistemas con potencial maderable en México. (Sistema Biométrico para la Planeación del Manejo Forestal Sustentable de los Ecosistemas con Potencial Maderable en México). El Salto Durango, México. Disponible en:<http://fcfposgrado.ujed.mx/sibifor/inicio/>

- Steel D., R. D. y J. H. Torrie. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. R. Martínez B. 2da. Ed. McGraw-Hill Latinoamérica, S. A. Bogotá Colombia. 640 p.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa, Noriega Editores, México, D.F. México. 472 p.
- Trigueño B., A. G., R. Villavicencio G. y A. L. Santiago P. 2014. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque templado de pino-encino en Jalisco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 5: 160-183.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield. Royal Veterinary and Agricultural University Copenhagen. Australia. CAB International, Wallingford UK. 329 p.
- Zamora M., M. C. 2015. Producción de árboles de navidad. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6 (32): 4-6.
- Zar, J. H., 2010. Biostatistical análisis. Upper Saddle River. 5ta. Pearson Hall, New Jersey 07458. 944 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones utilizadas para predicción de alturas en rodal Los pinos, ubicado en el APFF Pico de Tancítaro, en los terrenos de la comunidad indígena de Santa Ana Zirosto, Uruapan, Michoacán.

Modelo	Parámetros	R ²	R ² aj	SC	CME	√CME
$Y=B0*(DP^{B1})$	B0=3.2178; B1=0.5192	0.710	0.707	920.3	1012.7	31.8
$Y=B0*(DP^{B1})*(ALTD^{B2})$	B0=1.8338; B1=0.3189; B2=0.4224	0.908	0.907	775.6	316.2	17.8
$Y=B0+B1*DP+(B2*(DP^2))$	B0=4.4143; B1=0.5793; B2=-0.0033	0.705	0.702	907.8	1045.6	32.3
$Y=((DP)/(B0+B1*DP))^2$	B0=1.8809; B1=0.1626	0.692	0.688	932	1125.6	33.5
$Y=B0*(DP/1+DP)^{B1}$	B0=2.2453; B1=0.5192	0.710	0.707	920.3	1012.7	31.8

Notas: Y=Altura total calculada; B0=Parámetro 1; B1=Parámetro 2; B2=Parámetro 3; DP= Diámetro a la altura del pecho; ALTD= Altura dominante; R²=Coeficiente regresión cuadrado; R²aj= Coeficiente de regresión cuadrado ajustado; SC=Suma de cuadrados; CME=Cuadrados medios del error; y √CME= Raíz de los cuadrados medios del error. La fila sombreada es la ecuación de mejor ajuste.

Anexo 2. Ecuaciones empleadas para la estimación de volumen, de las diferentes especies de los rodales Los Pinos y Tirimicuaro en el APFF Pico de Tancítaro, ubicados en los terrenos de la comunidad indígena de Santa Ana Zirosto, Uruapan, Michoacán. (SiBiFor, 2016)

Especie	Modelo	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	R ²
<i>Abies religiosa</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000769	B1=2.0649807	B2=0.6612028	0.97
<i>Alnus acumilata</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000997	B1=1.8021955	B2=0.9035457	0.95
<i>Arbutus xalapensis</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000571	B1=1.8347713	B2=0.9915243	0.93
<i>Juniperus spp</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.000055	B1=1.9056194	B2=0.9682912	0.99
<i>Pinus leiophylla</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000902	B1=1.6850107	B2=1.084554	0.97
<i>Pinus montezumae</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000449	B1=1.751193	B2=1.2226627	0.96
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000542	B1=1.9356226	B2=0.960816	0.96
<i>Pinus rudis</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000569	B1=1.9865374	B2=0.8928047	0.97
<i>Quercus crassifolia</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0002209	B1=1.7020819	B2=0.695086	0.96
<i>Quercus crassipes</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000632	B1=1.9605288	B2=0.8238542	0.98
<i>Quercus laurina</i>	$V=B0*d^{B1}*h^{B2}$	B0=0.0000919	B1=2.0276174	B2=0.6039367	0.96

Nota: V= Volumen total árbol; B0=Parámetro 1; B1=Parámetro 2; B2= Parámetro 3; y R²=Coeficiente de regresión cuadrado.

Anexo 3. Cálculo de probabilidad de cambio de categoría diamétrica en los rodales Los Pinos y Tirimicuaro en el APFF Pico de Tancítaro, ubicados en los terrenos de la comunidad indígena de Santa Ana Zirosto, Uruapan, Michoacán.

No. de árbol	Sitio	Especie	Diámetro a la altura del pecho, primera medición (cm) (1)	Diámetro a la altura del pecho después de un año (cm) (2)	Clase diamétrica inicial en centímetros (3)	Clase diamétrica final después de un año de evaluación (4)	Categoría (5)	Muertos (6)	Sin cambio (7)	Clases de diámetro	
										1 cm (8)	2 cm (9)
27	3	<i>A. religiosa</i>	6	6.2	6	6	6	1			
							Total	1			
							Probabilidad	1			
24	3	<i>A. religiosa</i>	10.9	12.5	11	13	11				1
							Total				1
							Probabilidad				1
17	3	<i>A. religiosa</i>	66	66.1	66	66	66	1			
							Total	1			
							Probabilidad	1			
22	3	<i>Q. laurina</i>	12	12.1	12	12	12	1			
							Total	1			
							Probabilidad	1			
8	3	<i>Q. laurina</i>	17	17	17	17	17	1			
23	3	<i>Q. laurina</i>	17.3	17.8	17	18	17				1
							Total	1			1
							Probabilidad	0.5			0.5
18	3	<i>Q. laurina</i>	18	19.3	18	19	18				1
							Total				1
							Probabilidad				1

Notas sobre el cálculo:

- Columna 1 y 2 son obtenidas de la medición de árboles individuales en sitios permanentes de muestreo.
- La columna 3 es el resultado de la columna 1 al redondear los valores de los diámetros.

- La columna 4 es el resultado de la columna 2 al redondear los valores de los diámetros.
- La columna 5 es el resultado de la columna 1 al redondear los valores de los diámetros.
- Las columnas 6, 7 y 8 resultan de revisar cada línea de las columnas 2 y 3; si hubo mortalidad se coloca en la columna 6 el árbol muerto en la línea correspondiente y de esta manera para las columnas, 7, 8 y 9. Después se suman los árboles de cada columna.
- El cálculo de probabilidad = Número total de árboles / Número de observaciones, ejemplo, probabilidad sin cambio = $1/2 = 0.5$.

Anexo 4. Ejemplo de cálculo Incremento Corriente Anual (ICA) en los rodales Los Pinos y Tirimicuaro en el APFF Pico de Tancítaro, ubicados en los terrenos de la comunidad indígena de Santa Ana Zirosto, Uruapan, Michoacán. (Parte 1)

Especie	Diámetro a la altura del pecho, primera medición (cm) (1)	Diámetro a la altura del pecho después de un año (cm) (2)	Clase diamétrica inicial en centímetros (3)	Número de árboles / ha (4)	Clase diamétrica final después de un año de evaluación (5)	Volumen en metros cúbicos primera medición (6)	Volumen en metros cúbicos segunda medición a un año (7)	Probabilidad				
								Categoría (8)	Muertos (9)	Sin cambio (10)	Clases de diámetro	
							1 cm (11) 2 cm (12)					
			67									
<i>A. religiosa</i>	66	66.1	66	6.25	66	4.4391	4.4530	66		1		
<i>A. religiosa</i>	10.9	12.5	11	6.25	13	0.0566	0.0811	11			1	
<i>A. religiosa</i>	6	6.2	6	6.25	6	0.0090	0.0096	6		1		
			58									
<i>Q. laurina</i>	56.9	57.7	57	6.25	58	2.4348	2.5047	57		1		
			56									
<i>Q. laurina</i>	41.1	41.1	41	6.25	41	0.9520	0.9521	41		1		
<i>Q. laurina</i>	40.2	42.1	40	6.25	42	1.0636	1.1681	40		1		
			39									
<i>Q. laurina</i>	38.2	38.2	38	6.25	38	0.6310	0.7611	38		1		

Anexo 5. Ejemplo de cálculo Incremento Corriente Anual (ICA) en los rodales Los Pinos y Tirimicuaro en el APFF Pico de Tancítaro, ubicados en los terrenos de la comunidad indígena de Santa Ana Zirosto, Uruapan, Michoacán. (Parte 2)

Categoría (8)	Probabilidad		Número de árboles/ha					Predicción número de árboles por ha (16)	Volumen (V2) por ha (17)	Volumen (V1) por ha (18)	DIFERENCIA (19)	
	Muertos (9)	Sin cambio (10)	Clases de diámetro		Clases de diámetro							
			1 cm (11)	2 cm (12)	Sin cambio (13)	1 cm (14)	2 cm (15)					
66		1				0	0	0	0	0	0	0
11					1	6.25	0	0	6.25	27.83126	27.7444	0.08687553
6		1				0	0	6.25	0	0	0.35428	-0.3542844
						6.25	0	0	6.25	0.060289	0.05634	0.00394708
						0	0	0	0	0	0	0
57		1				6.25	0	0	6.25	15.65451	15.2176	0.43695329
						0	0	0	0	0	0	0
41		1				6.25	0	0	6.25	5.950625	5.95062	0
40		1				6.25	0	0	6.25	7.300565	6.64799	0.65257299
						0	0	0	0	0	0	0
38		1				6.25	0	0	6.25	4.75663	3.94412	0.81251153

Notas sobre el cálculo:

Los cálculos se desarrollan por especie

- Columna 1, diámetro a la altura del pecho de la primera medición ordenadas de mayor a menor.
- Columna 2, diámetro a la altura del pecho de la segunda medición.
- Columna 3, clases diamétricas iniciales a la altura del pecho ordenadas de mayor a menor.
- Columna 4, número de árboles por hectárea en la clase diamétrica inicial.
- Columna 5, clases diamétricas finales, después de un año de medición.
- Columna 6 y 7, obtenidos con ecuación de predicción de volumen para las diferentes especies leñosas.
- Columna 8, Categoría diamétrica considerando la clase diamétrica inicial en centímetros.
- Las columnas 9, 10, 11 y 12 resultan de revisar cada línea de las columnas 3 y 5; si hubo mortalidad se coloca en la columna 9 el árbol muerto en la línea correspondiente y de esta manera para las columnas, 7, 8 y 9.
- Columna 13, se calcula multiplicando la columna 4 por la columna 10
- Columna 14, se calcula multiplicando la columna 4 por la columna 11
- Columna 15, se calcula multiplicando la columna 4 por la columna 12
- Columna 16, se calcula sumando la columna 13 más el valor de la columna 14 de una línea abajo más el valor de la columna 15 dos líneas abajo. Por ejemplo, para el cálculo de categoría de 32 cm se sumó: $6.25+0+0=6.25$ Como se señala con las líneas negritas sobre la tabla.

Anexo 6. Procesamiento estadístico para cálculo de diferencias de incremento corriente anual en *Abies religiosa* entre rodales y diferencias estadísticas entre rodales.

Estimadores	Entre rodales considerando sólo <i>Abies religiosa</i>	Entre rodales considerando todas las especies leñosas
\bar{X}_1 rodal Los Pinos (1)	14.2902828	16.5745182
\bar{X}_2 rodal Tirimicuario (2)	1.32194669	10.4041249
n ₁	10	10
n ₂	5	16
S ₁ ²	20.6800227	11.1350411
S ₂ ²	2.91840345	30.7992615
W ₁ =	2.06800227	1.11350411
W ₂ =	0.58368069	1.92495384
t cal=	7.9638571	3.53986117
t ponderada=	1.85707371	1.77030691

\bar{X} = media de la muestra, n=número de muestras, s²=varianza; w=varianza entre número de observaciones