

Curvas de crecimiento por estratos de dominancia en bosques al sureste de Jalisco, México

Growth curves by dominant strata in forests in southeastern Jalisco, Mexico

Brenda Carolina Zerecero-Salazar ^a , Eduardo Salcedo-Pérez ^{*,a} , Agustín Gallegos-Rodríguez ^a , Miguel Olvera-Vargas ^b , Gregorio Ángeles-Pérez ^c 

* Autor de correspondencia: ^a Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, posgrado en Biosistemática y Manejo de los Recursos Naturales, Zapopan, Jalisco, México, tel.: 52 3337771150, eduardo.salcedo@academicos.udg.mx

^b Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Ecología Forestal, Autlán de Navarro, Jalisco, México.

^c Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Posgrado Forestal, Texcoco, Estado de México, México.

SUMMARY

One of the most important functions of forests is their capacity to store carbon, which varies according to floristic composition, age, and tree density. To provide information that is useful for the carbon inventories, the construction of growth curves for dominant strata within the study area was set as the objective of this work. With data from the National Forest and Soil Inventory 2005-2009 were calculated the IVI by conglomerate and from a dendrogram performed with cluster analysis, using the Ward's linkage method, dominant strata were formed. A growth curve per community was constructed based on the maximum yields per hectare recorded in the forestry management plans, the percentage increases were attributed to volume per species at different ages, which was obtained by ICA through trunk analysis. Five dominant strata were formed; *Pinus oocarpa* (21.08 % to 54.38 %), *Pinus douglasiana* (41.45 % to 89.83 %), *Pinus devoniana* (27.53 % to 63.88 %), *Pinus leiophylla* (27.53 % to 89.03 %) and *Quercus* spp. (36.05 % to 93.26 %). The maximum yields for the stands within the study area were 329.98 m³ ha⁻¹, 330.71 m³ ha⁻¹, 171.35 m³ ha⁻¹, 185.22 % and 127.46 m³ ha⁻¹, respectively. The *Pinus oocarpa* and *Pinus douglasiana* dominant strata are had the highest percentage increases in the region due to their historical foment.

Keywords: dendrogram, empirical growth curve, importance value index, trunk analysis, species dominance.

RESUMEN

Una de las funciones más importantes que cumplen los bosques, es su capacidad para almacenar carbono, esta varía de acuerdo con su composición florística, edad y densidad del arbolado. Con la finalidad de aportar información que sea útil para los inventarios de carbono, se plantearon como objetivos la construcción de curvas de crecimiento para estratos de dominancia dentro del área de estudio. Con los datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2005-2009 se calculó el IVI por conglomerado y a partir de un dendrograma derivado de un análisis de agrupamiento usando el método de ligamiento de Ward, se formaron estratos de dominancia. Se construyó una curva de crecimiento por estrato, partiendo de los rendimientos máximos por hectárea registrados en los programas de manejo forestal y se atribuyeron los incrementos porcentuales en volumen por especie a diferentes edades, estos obtenidos a partir del ICA mediante análisis troncales. Fueron formados 5 estratos de dominancia; *Pinus oocarpa* con valores de 21,08 % a 54,38 %, *Pinus douglasiana* 41,45 % a 89,83 %, *Pinus devoniana* 27,53 % a 63,88 %, *Pinus leiophylla* 27,53 % a 89,03 % y *Quercus* spp. 36,05 % a 93,26 %. Los rendimientos máximos para los rodales dentro del área de estudio fueron 329,98 m³ ha⁻¹, 330,71 m³ ha⁻¹, 171,35 m³ ha⁻¹, 185,22 m³ ha⁻¹ y 127,46 m³ ha⁻¹ respectivamente. Los estratos de *Pinus oocarpa* y *Pinus douglasiana* son los de mayor incremento porcentual en la región, debido a su impulso histórico.

Palabras clave: dendrograma, curvas de crecimiento empíricas, índice de valor de importancia, análisis troncales, dominancia de especies.

INTRODUCCIÓN

México es considerado como un centro de diversidad del género *Pinus*, ya que concentra casi la mitad del total de es-

pecies a nivel mundial. En las comunidades a lo largo de las principales sierras del país, tienen gran importancia ecológica, económica y social. Muy frecuentemente son el elemento dominante de la vegetación, influyen en la funcionalidad del

ecosistema como son los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego, y son hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre. Además de su capacidad como sumideros de gases de efecto invernadero (Pimienta de la Torre *et al.* 2019), como la capacidad de almacenar carbono (C) en y su contribución en la mitigación del cambio climático.

La capacidad de los bosques de almacenar carbono varía de acuerdo con la composición florística, la edad del rodal y la densidad de cada estrato (Fonseca-González 2017). Por esto, es necesaria en primer lugar, la caracterización estructural de los mismos, ya que constituye uno de los fundamentos principales para el entendimiento de la distribución y dominancia espacial. La caracterización estructural de un bosque puede dar información adecuada sobre la biodiversidad, siendo los árboles, elementos fundamentales en la estructura de un ecosistema forestal. Evaluar la estructura arbórea, aporta información sobre los cambios en el estatus del ecosistema, derivados de la aplicación de tratamientos silvícolas y la resiliencia de este ante la ocurrencia de perturbaciones, por lo que la estructura de un bosque es el resultado de procesos ocurridos en el pasado, determinando así la composición, distribución y la frecuencia de los árboles dentro del ecosistema (Hernández *et al.* 2013). Evaluarla, es importante para el manejo y la generación de información que permita que el bosque otorgue servicios al ecosistema, uno de ellos el almacenamiento de carbono (C).

Debido al manejo histórico en la región, se espera que esta tenga dominancias bien definidas, para poder asociar a cada estrato una curva de crecimiento, que sea guiada por su especie dominante. Esta región se compone por vegetación de pino-encino con especies de importancia comercial y una porción con cobertura de selva baja caducifolia, por lo que una gran parte es manejada para el aprovechamiento forestal maderable (Asesores Forestales de Occidente 2015). Por esta razón, se cuenta con información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS), además de programas de manejo, que permiten construir en conjunto curvas de crecimiento a partir de un solo inventario y que estas sirvan como insumo en la estimación de la acumulación de C a escala de paisaje en el pasado, presente y apoyar en algunas estimaciones a futuro.

El crecimiento de los árboles puede definirse como el cambio en el diámetro, altura, área basal y por lo tanto en volumen, estos cambios se ven influenciados por varios factores, siendo la especie y el ambiente en donde crecen los más destacados (Smith *et al.* 1992). Este crecimiento es dinámico en un bosque, debe ser calculado con base en un balance que incluya las incorporaciones, una tasa de cambio y una salida (Domínguez-Calleros *et al.* 2016).

Los modelos que ajustan curvas de crecimiento en volumen tanto de árboles individuales como de masas forestales otorgan esta posibilidad, a través de un comportamiento determinístico cuya forma es sigmoidal. Sin embargo, requieren de datos sobre incrementos de un número significativo de árboles, con todas las restricciones que esto implica. Además, es necesario considerar los factores

tanto determinísticos como estocásticos que influyen en el crecimiento. Por lo tanto, el desarrollo y ajuste de modelos de incremento y rendimiento requieren de suficientes datos en su construcción (Domínguez-Calleros *et al.* 2016).

Por otra parte, cuando se requiere hacer estimaciones del crecimiento de bosques en el pasado, debido a los diversos factores que influyen, es necesario considerar las condiciones existentes en ese momento. Además, si no se cuenta con suficientes datos sobre incrementos que permitan realizar el ajuste de algún modelo, es necesario hacer uso de la información disponible que permita la construcción de una curva de crecimiento que integre en la medida de lo posible estas condiciones.

Hasta la fecha no se han realizado estudios en esta área que identifiquen con claridad la dominancia de especies arbóreas por estrato en años pasados, de tal forma que se les puedan asociar curvas de crecimiento en volumen construidas a partir de un solo inventario. Por lo anterior, en este trabajo se plantearon dos objetivos: i) Definir estratos de dominancia a través del índice de Valor de Importancia (IVI), con los datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 (CONAFOR 2012); ii) Construir curvas de crecimiento volumen-edad para cada estrato de dominancia identificado, a partir del INFyS, análisis troncales e información del manejo forestal.

MÉTODOS

Área de estudio. El área de estudio se ubica dentro de la región conocida como La Sierra del Tigre, abarca una superficie de 159.500 ha y forma parte del Eje Neovolcánico Transmexicano. Los usos de suelo dentro del polígono son; áreas urbanas, agrícolas, selva baja caducifolia, bosque de pino, pino-encino y pequeñas porciones de bosques puros de encino (INEGI 2005). Se encuentra entre los paralelos 19° 35' 34,58", 20° 04' 33,34" de latitud Norte y los meridianos 102° 54' 29,59", 103° 27' 49,14" de longitud Oeste (figura 1). Los climas en la región son cálidos, semicálidos AC(w), semisecos BS1(h') y templados C (INEGI 2020).

Base de datos. Se usaron datos de 37 conglomerados del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 (INFyS) (CONAFOR 2012), para el cálculo del índice de Valor de Importancia (IVI). El muestreo INFyS, se basa en el establecimiento de puntos centrales con una distancia de 5 x 5 km entre sí para las coberturas de coníferas y latifoliadas y de 10 x 10 km para selvas bajas de acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación INEGI Serie III escala 1:250.000 (INEGI 2005).

En el bosque de coníferas y latifoliadas se establecieron 4 parcelas circulares, con un radio de 11,28 m y 45,14 m de distancia entre sus puntos centrales en forma de "Y invertida" y en la selva baja caducifolia se establecieron parcelas rectangulares de 40 x 10 m y 36.42 m de distancia entre sus puntos centrales. A las 4 parcelas establecidas en cada punto central se le denominó conglomerados. Se registró

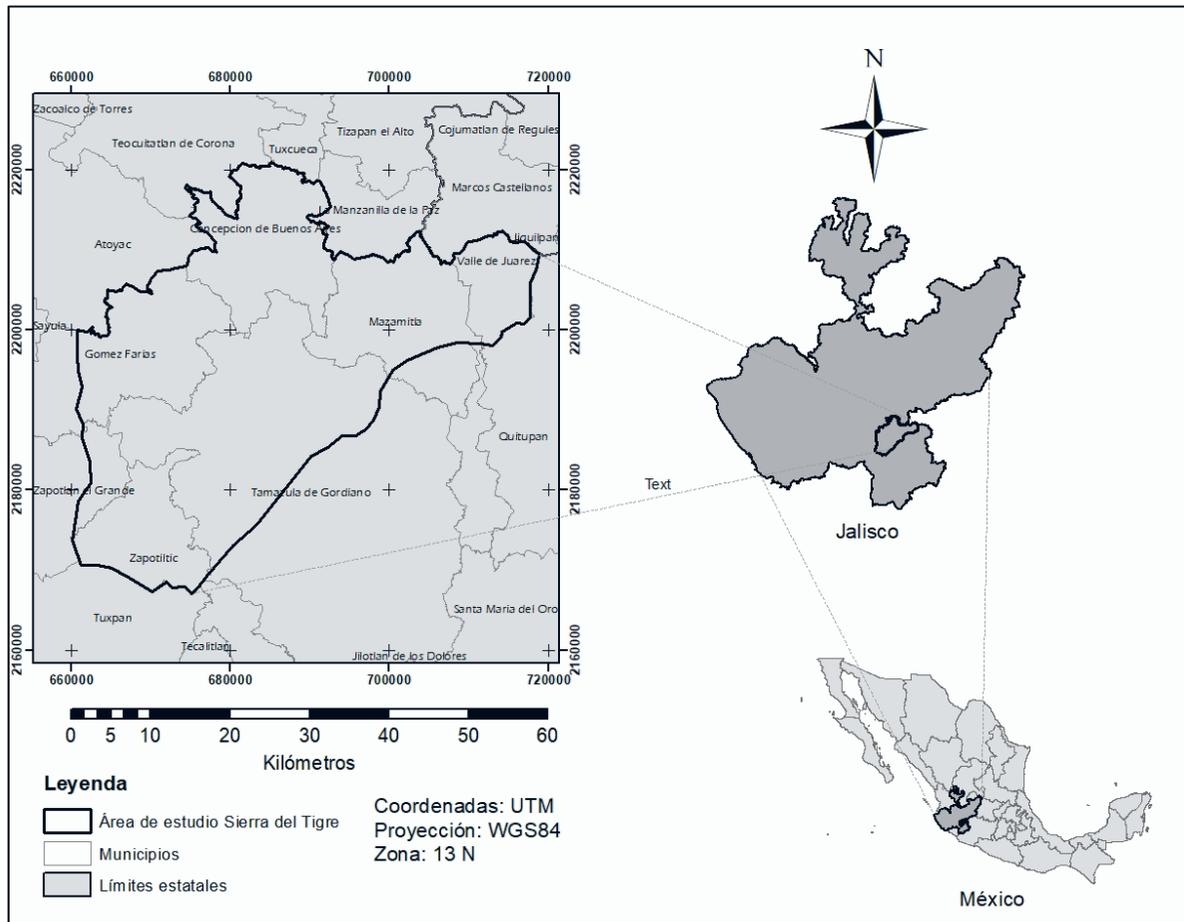


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.
 Geographical location of the study area.

en cada sitio, número de árbol, género, especie, nombre común, condición, diámetro normal (1,30 m sobre el suelo), diámetro de copa y altura total para todos los árboles con diámetros mayores a 7,5 cm (CONAFOR 2004) (figura 2).

Se revisaron las bases de datos para los 37 conglomerados dentro del área de estudio (figura 3), con la finalidad de detectar errores de registro en diámetros o alturas (datos inconsistentes). Asimismo, las especies registradas en los conglomerados se cotejaron con los mapas de distribución CONABIO (2023) para Jalisco. Además, se hicieron visitas

de campo a aquellos conglomerados con errores detectados para corroborar o corregir la información, según fuera el caso.

Análisis de datos. El IVIR fue desarrollado por Curtis & McIntosh (1951), para conocer los estratos de dominancia de cada especie en rodales mezclados, ha sido usado ampliamente en estudios relacionados con diversidad y estructura en distintos ecosistemas (Saavedra-Romero *et al.* 2019) y se calculó entre los 4 sitios de cada conglomerado del INFyS con la ecuación 1.

$$IVIR = \frac{Abundancia\ relativa + densidad\ relativa + frecuencia\ relativa}{3}$$

$$Abundancia\ relativa = \frac{No.\ de\ individuos\ por\ especie\ en\ el\ cong.}{\Sigma\ No.\ individuos\ de\ todas\ las\ especies\ en\ el\ cong.} \times 100$$

$$Densidad\ relativa = \frac{\Sigma\ áreas\ basales\ por\ especie\ en\ el\ cong.}{\Sigma\ áreas\ basales\ de\ todas\ las\ especies\ en\ el\ cong.} \times 100$$

$$Frecuencia\ relativa = \frac{No.\ de\ sitios\ del\ cong.\ con\ la\ especie\ (1 - 4)}{\Sigma\ del\ No.\ de\ sitios\ del\ cong.\ con\ la\ especie\ (todas\ las\ especies)} \times 100$$

[1]

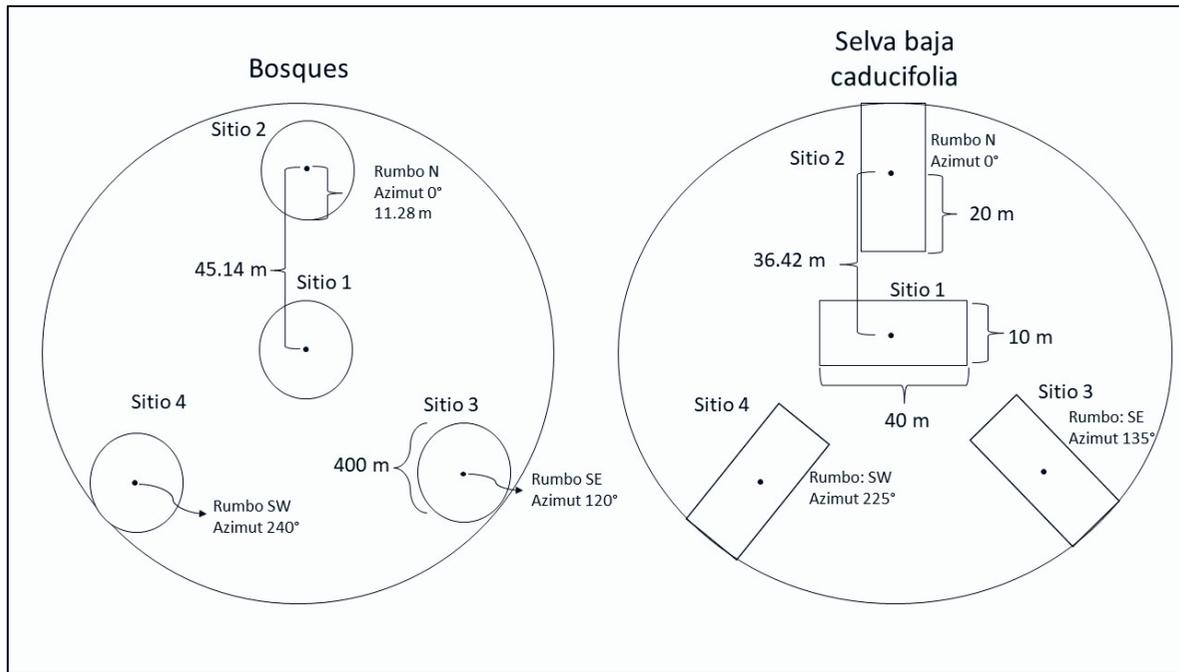


Figura 2. Forma de la unidad de muestreo del INFyS para bosques y selva baja caducifolia.
 Form of the sampling unit for temperate forest and tropical deciduous forest of INFyS conglomerates.

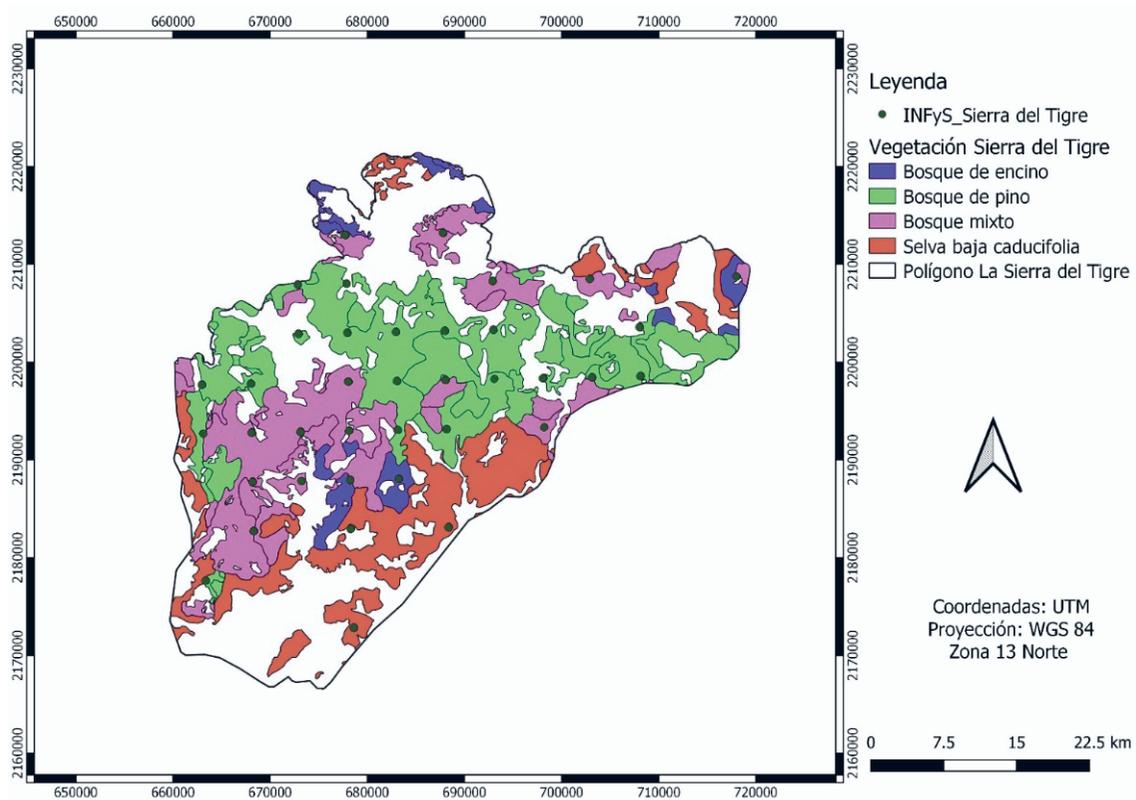


Figura 3. Conglomerados del INFyS dentro del área de estudio sobre la capa de uso de suelo y vegetación INEGI, Serie III (2005).
 INFyS conglomerates within the study area on land use and vegetation layer INEGI, Series III (2005).

Delimitación de estratos de dominancia. La delimitación de estratos con dominancia de una especie se realizó a partir de los valores de IVIR de los 37 conglomerados que están dentro del polígono de estudio, se realizó un análisis de agrupamiento con el programa past 4.04 (Hammer *et al.* 2001), se eligió Ward como método de ligamiento y la distancia euclidiana para la construcción del dendrograma. Esto con el objetivo de encontrar aquellos conglomerados en donde domina la misma especie a partir de su valor de IVIR.

El método de Ward es un método de ligamiento para generar agrupamientos, tiene como atributos ser politético, jerárquico-aglomerativo, el cual compara por pares cada uno de los sitios de muestreo, y agrupa aquellos para los cuales se tenga el menor incremento en el valor de la suma de los cuadrados al promedio (Hartigan 1975). Es también conocido como método de varianza mínima de Ward. Este método, mostró grupos de conglomerados bien definidos por dominancia de la misma especie.

Curvas de crecimiento volumen-edad. Para determinar los crecimientos por especie, se tomaron inventarios realizados por los asesores técnicos forestales de la Unidad de Manejo Forestal (UMAFOR) 1404. Las UMAFOR, son zonas definidas con base en los límites de las cuencas, subcuencas o microcuencas y son la base para planificar el manejo eficiente de los recursos forestales en México.

La información obtenida, fue tomada mediante método destructivo durante el aprovechamiento forestal, fueron registrados los datos de longitud de trozas, tocón y puntas, diámetro de cada troza y número de anillos. Se muestrearon 29 árboles de *Pinus douglasiana* Martínez, 21 árboles de *Pinus oocarpa* Schiede *ex* Schltdl, 15 árboles de *Pinus leiophylla* Schiede *ex* Schltdl. & Cham. y 17 árboles de *Pinus devoniana* Lindl. Con esta información se calculó el volumen a diferentes edades para cada árbol, a través del método de análisis troncales (Klepac 1983). Derivado de estos volúmenes por árbol a las edades de 10 a 90 años, se calculó el Incremento Corriente Anual (ICA) por árbol con la ecuación 2, finalmente el valor medio de ICA de todos los árboles de la misma especie (desde 10 hasta 90 años) y su porcentaje correspondiente respecto al volumen en la década anterior, esto para cada una de las especies de pino encontradas como dominantes en cada estrato.

Además, se revisaron 19 programas de manejo de predios dentro del polígono de estudio, para identificar rodales en donde domina alguna de las 4 especies de pino o de encino identificadas en cada estrato de dominancia y se calculó el promedio de los rendimientos máximos de estos rodales, considerando los volúmenes de todos los árboles dentro del rodal.

A partir de las ecuaciones del Sistema Biométrico Forestal (SIBIFOR) para la UMAFOR 1404 (Vargas-Larreta *et al.* 2017) (ecuación 2), se calculó el volumen total por árbol con corteza (vtacc) con los diámetros y alturas registrados en el INFyS. Además, se calculó el volumen por

hectárea para cada conglomerado (ecuación 3) y así obtener el volumen promedio por hectárea para el estrato de dominancia (ecuación 4).

$$ICA = \frac{v_1 - v_2}{t_1 - t_2} \quad [2]$$

$$Vtacc = a0 \times d^{a1} \times h^{a2} + b0 \times d^2 \quad [3]$$

En donde:

d = diámetro normal por árbol en el conglomerado i

h = altura por árbol

a y b = estimadores por especie

$$\frac{Vol}{ha_i} = \frac{\sum vtacci * 10.000}{1.600} \quad [4]$$

Donde Vol ha⁻¹, es el volumen por hectárea en el conglomerado i, $\sum vtacc_i$ es la sumatoria del volumen por árbol en el conglomerado i y la superficie muestreada es de 1.600 m², correspondiente a los 4 sitios de 400 m que conforman el conglomerado.

$$Media \text{ por estrato} = \frac{\sum vol \text{ ha}^{-1}}{N^{\circ} \text{ Conglomerados}} \quad [5]$$

Donde Media por estrato, es la media de volumen por hectárea por conglomerado dentro del estrato de dominancia, $\sum vol \text{ ha}^{-1}$ es la sumatoria de los volúmenes promedio por hectárea de cada conglomerado dentro del estrato de dominancia y N^o conglomerados es el número de conglomerados dentro del estrato.

Asimismo, se calculó el intervalo de confianza (ecuación 6).

$$IC = Media \text{ por estrato} \pm \frac{t_{\alpha, v}}{2} * S_{Media \text{ por estrato}} \quad [6]$$

En donde, IC es el valor del intervalo de confianza en m³ ha⁻¹, t es el valor del estadístico t de student, α es el error que se acepta tolerar, v son los grados de libertad, y es la desviación estándar del volumen medio por hectárea para estrato. El nivel de confianza usado en esta ecuación fue del 95 % ($\alpha = 0,05$).

Se calculó el porcentaje del IC respecto a con la ecuación 7.

$$PIC = \frac{IC}{Media \text{ por estrato}} * 100 \quad [7]$$

Con esta información, se construyó la curva de crecimiento para cada especie tomando como punto de partida el rendimiento máximo promedio de todos los rodales en donde domina la especie de interés (la dominante en cada estrato) a la edad de 50 años, en predios bajo manejo. Desde este punto, se atribuyeron los incrementos porcentuales

a diferentes edades, derivados del cálculo del ICA promedio. A cada valor por edad, se le restó la mortalidad estimada para bosques templados de pino-encino en el estado de Jalisco México por Trigueros *et al.* (2018) de 1,75 % anual. Finalmente, al volumen resultante se le restó el valor PIC obtenido mediante la ecuación 6, para obtener el límite inferior del intervalo de confianza. Este procedimiento se realizó solo para estratos de dominancia de pinos, ya que es evidente la presencia de encinos, esto con la finalidad de compensar la tasa de crecimiento en estos que es menor respecto a la de los pinos (Villar *et al.* 2014).

En el estrato dominado por encinos se consideró como punto de partida, el volumen promedio por hectárea en rodales con dominancia de estas especies, calculado con la información registrada en programas de manejo de la región. Partiendo del año 50 (edad del turno en esta UMAFOR), se atribuyó un incremento medio anual de 0,78 m³ ha⁻¹, según lo reportado en el documento técnico sobre manejo forestal de la cuenca de abasto Autlán-Mascota en el estado de Jalisco, México para bosques con especies de encino similares, valor estimado a partir de la información registrada de 1.096 rodales bajo manejo con dominancia de encinos (Mollenhauer *et al.* 2014). Sin embargo, en los conglomerados dentro de esta comunidad hubo una ocupación significativa de algunas especies de pino, principal-

mente *Pinus douglasiana*, *Pinus devoniana* y *Pinus oocarpa*, por lo que fue necesario calcular un valor medio, entre los crecimientos de encinos y estas especies de pino para la construcción de la curva de crecimiento volumen-edad, por lo que esta curva representa los crecimientos promedio de los encinos y las especies de pino antes referidas.

RESULTADOS

El dendrograma formado con el método de ligamiento Ward mediante la distancia euclidiana, mostró a un nivel de corte 75, nueve grupos con los 37 conglomerados del INFyS (figura 4). Cuatro de estos están dominados por especies de pino. Los conglomerados con dominancia de encinos (*Quercus* spp) formaron tres grupos, en uno de estos la dominancia es de *Quercus resinosa* Liebm., aunque existen codominancias de otras especies de encinos. En otro grupo dominan *Q. obtusata* Humb. & Bonpl. con valores de IVI de hasta 56,89 %, *Q. Castanea* Neé con valores de hasta 54,07 % y finalmente en un solo conglomerado domina *Q. deserticola* Trel con 68,80 % (conglomerado 57.744), debido a que no hubo otros conglomerados con dominancia de esta última, en el dendrograma fue ligado a los grupos de selva baja caducifolia debido a la presencia de este tipo de vegetación. Finalmente, un grupo más fue

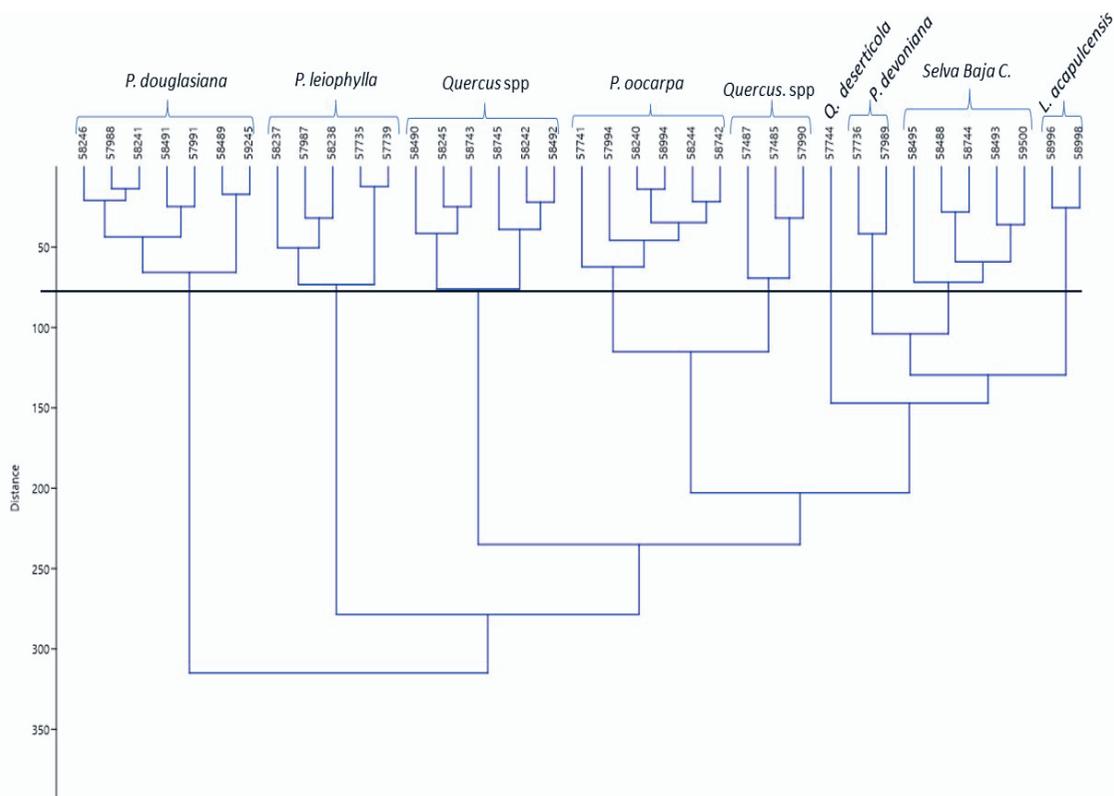


Figura 4. Dendrograma formado por método Ward, con valores de IVI para 37 conglomerados del INFyS, dentro del área de estudio. Nivel de corte 75.

Dendrogram formed by the Ward method, with IVI values for 37 INFyS conglomerates within the study area. Cut level 75.

formado con 2 conglomerados 58.996 y 58.998, en donde domina *Lysiloma acapulensis* Benth. con valores de IVI de 47,7 % y 67,7 % respectivamente, especie perteneciente a selva baja caducifolia.

Se formaron 5 estratos de dominancia, el primero dominado por *Pinus douglasiana* Martínez con valores de IVI mayores al 40 %, *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. con dominancia mayor al 40 %, *Pinus devoniana* Lindley con dominancia mayor al 25 % y *Pinus oocarpa* Shiede con dominancia mayor al 20 %. Los grupos formados por dominancia de *Quercus* spp se colocaron en un solo conjunto, así como los formados por dominancia de vegetación de selva baja caducifolia (cuadro 1).

Las especies *Pinus douglasiana* y *Pinus oocarpa* son de las más importantes en la región en cuanto a rendimien-

tos por hectárea, debido a su impulso y manejo forestal histórico. Las áreas basales en el cuadro 1, son solo para la especie dominante en ese estrato.

El estrato formado por especies de *Quercus* spp. mostró valores de IVI altos en algunos conglomerados, estos son la sumatoria de todas las especies de este género presentes. En la región son muy pocas y pequeñas las áreas con coberturas puras de encino, sin embargo, hay aquellas en donde dominan sobre los pinos (INEGI 2005). En seis conglomerados de esta comunidad, se encontró que *Pinus devoniana*, *Pinus douglasiana* y *Pinus oocarpa* representan una ocupación importante dentro de conglomerados dominados por *Quercus* spp. En la figura 5 se observan las áreas basales de las especies dominantes en este estrato.

Cuadro 1. Estratos de dominancia obtenidos con el método de ligamiento de Ward y medida de distancia euclidiana a un nivel de corte 75, en los 37 conglomerados del INFyS dentro del área de estudio.

Dominant strata obtained by Ward's linkage method and Euclidian distance measure at cut level 75 for 37 conglomerates within the study area.

Especie: <i>Pinus douglasiana</i>			Especie: <i>Pinus leiophylla</i>			Especie: <i>Pinus oocarpa</i>		
IVI		Área basal	IVI		Área Basal	IVI		Área basal
Cgl	%	m ² ha ⁻¹	Cgl	%	m ² ha ⁻¹	Cgl	%	m ² ha ⁻¹
57.988	43,93	8,27	57.735	89,03	13,48	57.741	54,38	12,36
57.991	41,45	8,00	57.739	83,46	16,46	58.240	29,69	8,83
58.241	49,90	13,27	57.987	39,69	18,14	58.244	15,73	4,99
58.246	53,75	17,22	58.238	47,64	8,89	58.742	30,28	5,57
58.489	74,84	14,32	58.237	47,64	4,51	58.994	21,61	7,42
58.491	55,17	19,60				57.994	21,08	7.14
59.245	89,83	10,09						

Especie: <i>Quercus</i> spp.			Especie: <i>Pinus devoniana</i>			Especies de selva baja caducifolia total		
*IVI		*Área basal	IVI		Área basal	*IVI		*Área basal
Cgl	%	m ² ha ⁻¹	Cgl	%	m ² ha ⁻¹	Cgl	%	m ² ha ⁻¹
57.485	66,71	10,67	57.736	63,88	5,05	58.488	68,30	3.18
57.487	95,26	17,50	57.989	27,53	6,33	58.493	100,00	16.58
57.744	87,50	7,93				58.495	100,00	3.78
57.990	74,36	21,31				58.744	84,03	6.45
58.242	60,67	8,18				58.996	100,00	1,60
58.245	36,05	2,53				58.998	100,00	5,53
58.490	54,26	7,88				59.500	100,00	0,88
58.492	52,99	8,11						
58.743	39,62	1,60						
58.745	68,74	19,23						

• Cgl: Código del conglomerado del INFyS, %: Porcentaje de dominancia de la especie dentro del conglomerado.

* Los valores en este recuadro, se refieren a la sumatoria de los valores de IVI y área basal de todas las especies pertenecientes al género *Quercus* o tipo de vegetación según corresponda en el encabezado del recuadro.

Por su parte, los conglomerados con especies de selva baja caducifolia se ubicaron en un solo conjunto, las especies más representativas en este son *Caesalpinea coriaria* Wild., *Esenardya polystachya* Sarg., *Psidium guineense* Sw., *Lysiloma acapulcensis* y *Ficus petiolaris* Kunth.

Curvas de crecimiento. Debido a la complejidad en la composición y morfología en el estrato formado por especies de selva baja caducifolia, no es posible construir una curva de crecimiento que represente los crecimientos de todas las especies que involucra, por esta razón se omitió.

Se construyeron las curvas de crecimiento que fueron asociadas a los estratos de dominancia restantes identifica-

dos en el apartado anterior, ya que representan los crecimientos de estas según su especie dominante.

Los rendimientos máximos por especie dominante (ed) a escala de rodal, fueron considerados solo tomando en cuenta aquellos en donde la dominancia es evidente, basándonos en los $m^3 ha^{-1} ed^{-1}$ como se muestra en el cuadro 2.

Los valores a partir de los cuales se atribuyeron los incrementos porcentuales, la mortalidad y el límite inferior del intervalo de confianza (IC), fueron a la media en $m^3 ha^{-1}/total\ rodal$. El turno en la UMAFOR 1404 es de 50 años, por lo que la edad registrada en los programas de manejo ronda en este valor.

En la figura 6 se muestran las curvas de crecimiento derivadas de las especies dominantes en los estratos de domi-

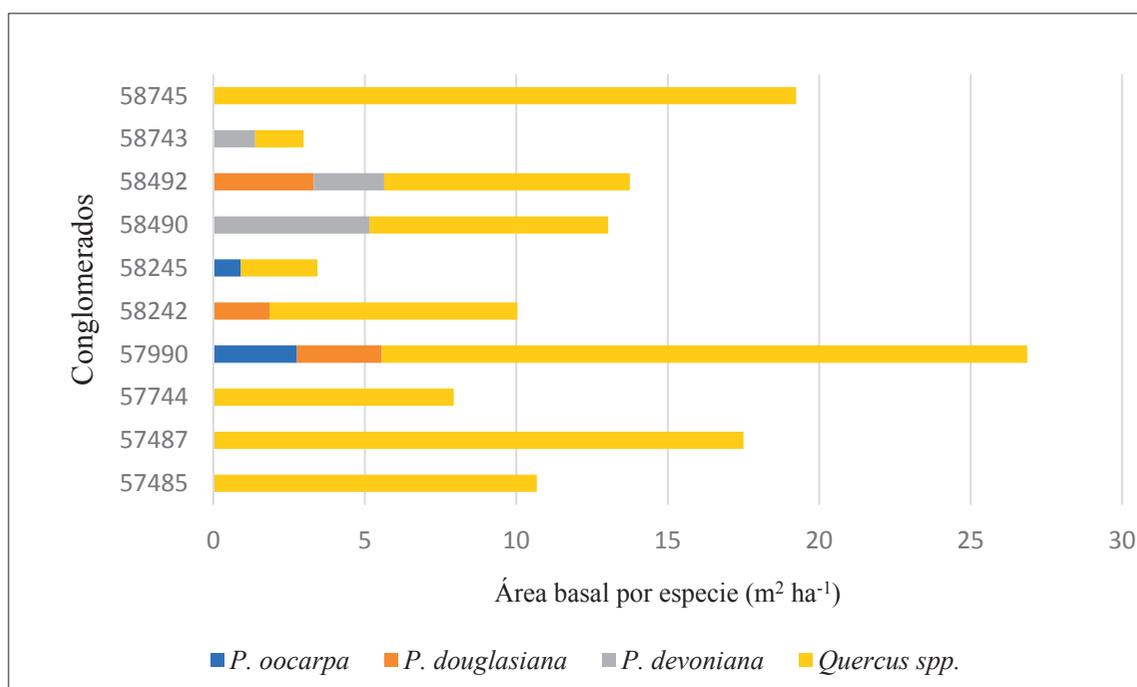


Figura 5. Área basal por especie ($m^2 ha^{-1}$) del estrato dominado por *Quercus* spp.

Basal area by species ($m^2 ha^{-1}$) of the strata dominated by *Quercus* spp.

Cuadro 2. Rendimientos máximos promedio en rodales dominados por una especie, reportados en los programas de manejo dentro del área de estudio.

Average maximum yields in stands dominated by one species, recorded in management programs within the study area.

Especie	No. de rodales considerados	Media edad	media $m^3 ha^{-1} ed^{-1}$	media $m^3 ha^{-1}$ total rodal ⁻¹
<i>Pinus oocarpa</i>	19	50,48	227,05	329,98
<i>Pinus douglasiana</i>	129	50,55	283,67	330,71
<i>Pinus devoniana</i>	10	52,58	79,84	171,33
<i>Pinus leiophylla</i>	5	41,58	149,32	185,22
<i>Quercus</i> spp	11	50,20	84,58	127,46
Total	174			

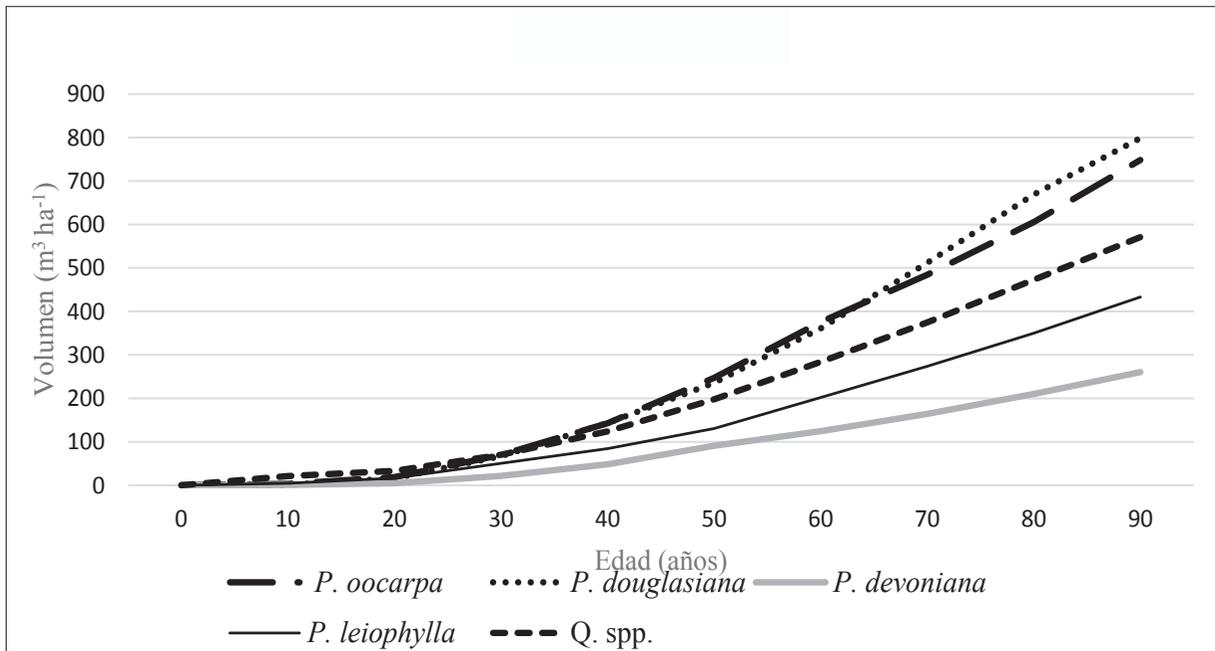


Figura 6. Curvas de crecimiento por especie dominante, para los estratos identificados dentro del área de estudio.
 Growth curves by dominant species, for the strata identified within the study area.

nancia identificados dentro del área de estudio, se observa que *Pinus douglasiana* es de las especies que representa mayores incrementos en la región, seguida de *Pinus oocarpa*, especies que se aprovechan en mayor medida dentro de esta UMAFOR.

Así mismo, son las especies que presentan mayores porcentajes de ICA en los primeros 30 años. *Pinus douglasiana* en el año 20 obtuvo 1.625,28 % de crecimiento en volumen respecto a la década anterior. En los rodales bajo manejo dominados por *Pinus douglasiana*, se encontraron existencias reales de hasta 676 m³ ha⁻¹ a la edad del turno, esto explica que su curva de crecimiento alcanza 798,45 m³ ha⁻¹ a los 90 años (cuadro 3). Sin embargo, las especies de *Pinus devoniana* y *Pinus leiophylla* presentan rendimientos que, aunque son menores respecto a las otras especies de pino, son importantes para el aprovechamiento forestal en la región.

DISCUSIÓN

Nuestros resultados muestran que las dominancias de las especies de pino en cada estrato son consistentes con las especies dominantes definidas por su IVI en una zona serrana del estado de Jalisco, en donde destacan *Quercus resinosa*, *Pinus douglasiana*, *Pinus devoniana* y *Pinus oocarpa*, encontradas en el bosque templado de la Sierra de Quila, Jalisco (Villavicencio *et al.* 2013). Por su parte Gopar-Merino *et al.* (2021) señala que, en la subcuenca de Sayula, Jalisco, las áreas compartidas por encinos y especies de pino ahora son dominadas por *Pinus devoniana* y *Pinus leiophylla* se han hecho dominantes probablemente debido

a que históricamente se ha favorecido su proliferación, lo que coincide con las especies dentro del área de estudio que comparten superficie en conglomerados dominados por encinos y que han ido ganando terreno debido a su impulso.

Asimismo, los valores de IVI encontrados en conglomerados dominados por *Pinus leiophylla* responden a las características de la especie, que forma poblaciones fragmentadas y dispersas en el Eje Neovolcánico según lo reportado por Rodríguez-Trejo (2021). En la comunidad dominada por esta especie, dos conglomerados presentan dominancias altas, pero con áreas basales menores respecto a otras especies, esto probablemente debido a su capacidad para establecerse en lugares pobres y pedregosos, además de presentar resistencia relativa al estrés abiótico (Musálem y Martínez 2003). En los tres conglomerados restantes, las dominancias son menores compartiendo principalmente con *Pinus maximinoi* H. E. Moore, lo que es consistente con lo reportado por Rodríguez-Trejo (2021), en donde se destaca que *Pinus leiophylla* no forma masas puras en condiciones regulares de establecimiento, por su bajo porcentaje de semillas fértiles, además pocos ejemplares son extraídos en el método de regeneración y tiene una producción abundante de resina, por lo que se utiliza en programas de reforestación y conservación de suelos (Morales-Velázquez *et al.* 2010). Esto explica los rendimientos menores respecto a otras especies dominantes en la región.

Por otro lado, la dominancia de *Pinus douglasiana* Martínez según lo reportado por Rodríguez-Trejo (2021) se consideraba una de las coníferas con mayor potencial para plantaciones comerciales en Jalisco (García 1996),

Cuadro 3. Incrementos porcentuales y volúmenes por hectárea de las curvas de crecimiento según su especie dominante en el área de estudio.

Percentage increases and volumes per hectare of the growth curves according to their dominant species in the study area.

<i>Pinus oocarpa</i>			<i>Pinus douglasiana</i>		
Edad	Incremento porcentual	¹ m ³ ha ⁻¹	Edad	Incremento porcentual	¹ m ³ ha ⁻¹
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
10	100,00	3,27	10	100,00	0,93
20	473,81	18,78	20	1.625,28	16,04
30	272,72	70,06	30	319,43	67,28
40	104,12	142,91	40	112,96	143,29
² 50	72,63	² 247,24	² 50	64,40	235,56
60	51,86	375,45	60	53,15	360,76
70	29,06	484,55	70	41,90	511,90
80	25,01	605,73	80	30,65	668,77
90	23,56	748,43	90	19,39	798,45

<i>Pinus devoniana</i>			<i>Pinus leiophylla</i>		
Edad	Incremento porcentual	¹ m ³ ha ⁻¹	Edad	Incremento porcentual	¹ m ³ ha ⁻¹
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
10	100,00	1,04	10	100,00	4,72
20	387,98	5,05	20	256,10	16,83
30	327,36	21,60	30	200,54	50,57
40	124,20	48,43	40	67,32	84,61
² 50	88,24	91,17	² 50	54,33	130,58
60	36,40	124,35	60	54,72	202,03
70	32,18	164,36	70	35,47	273,70
80	27,97	210,33	80	27,81	349,81
90	23,75	260,29	90	23,86	433,27

<i>Quercus</i> spp.		
Edad	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha media ⁻¹
0	0,00	0,00
10	96,25	40,51
20	104,05	46,84
30	111,85	62,88
40	119,65	86,90
³ 50	³ 127,45	⁴ 123,24
60	135,25	152,18
70	143,05	186,42
80	150,85	225,27
90	158,65	267,21

¹ Valor final resultado de los Incrementos porcentuales por edad según la especie dominante, menos la mortalidad y menos el PIC.

² Edad del turno a la que se le asignaron rendimientos máximos promedio. A partir de esta edad se atribuyeron los incrementos porcentuales por especie a las diferentes edades.

³ Rendimiento máximo promedio para rodales con dominancia de *Quercus* spp. A partir de este valor se atribuyeron los incrementos porcentuales.

⁴ Promedio de rendimientos por hectárea de *Quercus* spp, *Pinus devoniana*, *Pinus douglasiana* y *Pinus oocarpa* menos la mortalidad.

por lo que era una de las especies predominantes en la Unidad Industrial de Explotación Forestal de Atenquique. Esta área se encontraba manejada a través del Método de Desarrollo Silvícola, cuyo propósito es formar bosques regulares con el tratamiento de regeneración de árboles padre y de cortas intermedias durante el turno (Valencia-Vargas 1994), por lo que estos resultados pueden atribuirse a ese impulso. Aunado a lo anterior, los valores porcentuales de crecimiento en *Pinus douglasiana* sobresalen de las otras especies, debido a que esta presenta incrementos en altura mayores respecto a *Pinus oocarpa* y *Pinus devoniana* en la región, según lo reportado por Rodríguez *et al.* (2017).

Con respecto a las curvas, estas no siguen una forma sigmoideal debido a que no se usaron ecuaciones para ajustarlas, sin embargo, responden a un crecimiento y condiciones en las que se encuentra la especie dominante, ya que fueron considerados los incrementos en cada etapa de crecimiento, a su vez se consideraron otros factores como la presencia de encinos y la mortalidad. Es probable que las curvas presenten su etapa de estacionalidad en años posteriores a la edad máxima considerada, esto debido a que en las edades de madurez (60-90 años) se muestrearon aún menos árboles para los análisis troncales, por la dificultad de encontrar ejemplares con esa edad.

CONCLUSIONES

La estructura del bosque estudiado mostró dominancias bien definidas en algunos estratos. Las especies de *Pinus douglasiana* y *Pinus oocarpa* son las que presentan los mayores incrementos, debido su impulso y manejo para el aprovechamiento forestal. El género *Quercus*, aunque se aprovecha en menor medida en la región, su presencia es frecuente en todos los conglomerados del INFyS. El estrato de selva baja caducifolia cuenta con un gran número de especies con distintas características morfológicas y de crecimiento en la región, sin embargo, muy pocas especies en esta comunidad son usadas para el aprovechamiento forestal.

Las curvas de crecimiento volumen-edad construidas con base en un solo inventario, usando la información registrada durante el manejo y los inventarios disponibles, servirán como parte de los insumos para las estimaciones en materia de acumulación de carbono durante décadas pasadas. Además, permitirán hacer proyecciones a futuro, bajo distintos escenarios de manejo y perturbación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Brenda Carolina Zerecero Salazar cálculo, análisis de datos y escritura de manuscrito, Eduardo Salcedo Pérez, asesoría metodológica y revisión de documento, Gregorio Ángeles Pérez asesoría sobre el manejo de los datos y revisión de documento, Agustín Gallegos Rodríguez análisis de información y visitas a campo, Miguel Olvera Vargas, asesoría sobre manejo de datos, revisión de manuscrito y propuestas metodológicas.

AGRADECIMIENTOS

Al despacho de Asesores Forestales de Occidente a cargo del Ingeniero Aldo Rivera por la asesoría técnica, información y acompañamiento para la realización de este proyecto, a FIPRODEFO por la información, asesoría y facilidades brindadas en el área de estudio.

FINANCIAMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por los recursos económicos otorgados para la realización de esta investigación, a la Universidad de Guadalajara por las facilidades brindadas para desarrollo de este trabajo con información, material y mobiliario y a Asesores Forestales de Occidente por la asesoría y capacitación sobre el manejo en la región.

REFERENCIAS

- Asesores Forestales de Occidente. 2015. Estudio Regional Forestal, UMAFOR 1404. Consultado en diciembre 2022. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/22/6380Sur-Sureste-Jalisco.pdf>.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, MX) 2023. Catálogo de autoridades taxonómicas de especies de flora y fauna con distribución en México. Base de datos SNIB-CONABIO, México. Consultado en enero de 2023. Disponible en: <https://www.snib.mx/>.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2004. Metodología del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004 - 2009, Gerencia de geomática e inventarios. Consultado el 10 de noviembre de 2022. Disponible en: https://www.snieg.mx/DocumentacionPortal/iin/acuerdo_3_X/metodologia_del_INFyS_2.pdf.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2012. Sistema Nacional de Información Forestal. Coordinación General de Planeación e Información- Gerencia de Inventario Forestal y Geomática de la Comisión Nacional Forestal, México. Consultado en agosto 2022. Disponible en: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventarios-forestales-y-de-suelos-de-las-entidades>.
- Curtis JT & McIntosh RP. 1951. An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology* 3(32): 476 - 496. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1931725>
- Domínguez-Calleros PA, FJ Rodríguez Flores, L Lizárraga-Mendiola, MA Jiménez-Gómez, J Navar. 2016. Aplicaciones y ejemplos de modelos de crecimiento diamétrico para árboles tropicales. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4(11): 265-274. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1060>
- De la Torre PDJ, JR Reyes, AR Morales y PM Morales. 2019. Estimación de biomasa aérea total y contenido de carbono de *Pinus maximinoi* H. E. Moore en Las Margaritas, Chiapas, México, *Avances en investigación agropecuaria* 23(2): 31-41. ISSN 0188789-0. Consultado el 20 de septiembre de 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/837/837060632004/>.
- Fonseca GW. 2017. Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales* 51(2): 91-109. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.5>.

- García MJJ. 1996. Coníferas promisorias para reforestaciones en la Sierra Purépecha. Agenda Técnica No. 2, Campo Experimental Uruapan. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, SAGAR. México. 17–27 p. Consultado el 20 de marzo de 2022. Disponible en: https://geoportaf.fiprodefo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/01/Monografia_pinus_douglas_jal.pdf
- Gopar LF, MA Macías, J Giménez de Azcárate. 2022. Bioclimatología, indicadores florísticos y vegetación potencial de la subcuenca Sayula, Jalisco, México. *Botanical Sciences* 100(4): 877-898. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.3041>
- Hammer O, DAT Harper & PD Ryan. 2001. PAST: paquete de programas de estadística paleontológica para enseñanza y análisis de datos. *Palaeontología Electrónica* 4(1): 9 p. Consultado el 15 de enero de 2022. Disponible en: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Hartigan JA. 1975. Clustering Algorithms, John Wiley and Sons, Hoboken. Consultado el 10 de marzo de 2023. Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vffcz55\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1947216](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vffcz55))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1947216).
- Hernández SJ, OAA Calderón, EA Rodríguez, JJ Pérez, EJT Garza, MAG Tagle, CL Álvarez, JMO García y AD Pereda. 2013. Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente* 19(2): 189-199. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, MX). 2005. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 serie III. Capa unión. Consultado el 01 de diciembre de 2022. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, MX). 2020. Conjunto de datos vectoriales, cartas climatológicas de los Estados Unidos Mexicanos, Conjunto Nacional. Escala 1:1.000.000. Consultado el 01 de diciembre de 2022. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.
- Klepac D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo, segunda edición, 279 p. Consultado el 23 de mayo de 2022. Disponible en: http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/crecimiento_e_incremento_klepac_dusan.pdf.
- Kurz WA, CC Dymond, TM White, G Stinson, CH Shaw, GJ Rampley, C Smyth, BN Simpson, ET Neilson, JA Trofymow, J Metsaranta, MJ Apps. 2009. CBM-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. *Ecological Modelling* 220(4): 480-504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.018>.
- Mollenhauer AR, HR Guzmán, MS Durán. 2014. Caracterización y estrategias de desarrollo industrial en la cuenca de abasto Mascota-Autlán del estado de Jalisco. ProyecFor. Jalisco, México. 121 p.
- Morales VMG, CAR Mandujano, PD Valerio y JL Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2): 31 - 38. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.635>.
- Musálem SMA, SM García. 2003. Monografía de *Pinus leiophylla* Schl. et Cham. Proyecto de investigación manejo sustentable y conservación de la biodiversidad de los bosques de clima templado y frío de México N. 16796. INIFAP, México. 85 p. Consultado el 20 de octubre de 2022. Disponible en: <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000034228>.
- Rodríguez Rivas A, R Vega E, T Escoto G, SG Díaz R, N Beas B, J Anzaldo H, HJ Contreras Q. 2017. Caracterización dasométrica y química - micrográfica de tres especies de pino y su viabilidad de aprovechamiento integral. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8 (41): 109-138. ISSN: 2007-1132. Consultado el 19 de septiembre de 2022. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63454559005>.
- Rodríguez-Trejo DA. 2021. Semillas de Especies Forestales. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 505 p.
- Saavedra-Romero L de L, P Hernández de la Rosa, D Alvarado-Rosales, T Martínez Trinidad, J Villa-Castillo. 2019. Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la ciudad de México. *Instituto Politécnico Nacional* (47): 25-37 México. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>.
- Smith WR, RM Farrar, PA Murphy, JL Yeiser, RS Meldahl, JL Kush. 1992. Crown and basal area relationships of open-growth southern pines for modeling competition and growth. *Canadian Journal of Forest Research* 22(3): 341-347. <https://doi.org/10.1139/x92-044>
- Trigueros BCA, GR Villavicencio G, AL Santiago. 2018. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque templado de pino-encino en Jalisco. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 5 (24): 160-83. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.327>.
- Valencia VJ. 1994. Utilización del índice de Densidad de Reineke en *Pinus douglasiana* en Atenquique, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 19(76): 51-75. Consultado el 20 de octubre de 2022. Disponible en: <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1033>.
- Vargas LB, JJC Rivas, OAA Calderón, JOL Martínez, HMS Posadas, FJZ Sánchez, EJT Garza, MM Salvador, CGA Calderón. 2017. SiBiFor: Sistema Biométrico Forestal para el manejo de los bosques de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* 23(3): 437-455. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.06.040>
- Villar R, BL Iglesias, PR Benito, EG de la Riva, MA Zavala. 2014. Crecimiento de plántulas y árboles de seis especies de *Quercus*. *Ecosistemas* 23(2): 64-72. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-2.09>.
- Villavicencio GR, RA Coria, ALS Pérez, SLT González. 2013. Análisis multivariable para la caracterización del bosque de *Pinus-Quercus* de la Sierra de Quila, Jalisco. IV Congreso Mexicano de Ecología 2013. Conocimiento Ecológico para la Solución de Problemas Ambientales Villahermosa, Tabasco 18- 22 marzo de 2013. Consultado el 20 de octubre de 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277012007_Analisis_multivariable_para_la_caracterizacion_del_bosque_de_Pinus-Quercus_de_la_Sierra_de_Quila_Jalisco.