

Modelos de crecimiento en altura dominante y turno técnico para diferentes índices de sitio

AVILA-PEREZ Humberto¹ †, FIERROS-MATEO Reynol², NAVA-NAVA Adan²

¹Escuela Superior en Desarrollo Sustentable UAGro Campus Costa Grande, ²Postgrado en Ciencias Forestales, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México.

12682@uagro.mx

Universidad Autonoma de Guerrero

Recibido: septiembre, 22, 2020; Aceptado febrero 9, 2021

Resumen

Se realizó un estudio en una plantación de *Pinus maximinoi* H.E. Moore ubicada en el predio particular denominado Ex hacienda de Almolonga, municipio de Técpan de Galeana, Guerrero. Se ajustaron modelos clásicos de crecimiento en altura dominante en la biometría forestal (Chapman- Richards, Weibull, McDill-Amateis y Hossfeld I) con el enfoque de diferencia algebraica (ADA) y diferencia algebraica generalizada (GADA). El objetivo fue modelar el crecimiento en altura dominante y determinar el índice de sitio. Los resultados indican que el mejor modelo fue el de Hossfeld I bajo el enfoque (GADA), fue el que obtuvo mayor coeficiente de determinación ajustado y errores bajos de estimación (<1 m). Este modelo seleccionado se usó para construir familia de curvas de índice de sitio a una edad base de 20 años. Se recomienda su uso para determinar el índice de sitio (IS) y calificar los niveles de productividad maderable en la plantación forestal comercial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

Palabras claves: modelo, altura dominante, curvas de índice de sitio, Hossfeld I.

Abstract

A study was carried out in a *Pinus maximinoi* H.E. Moore located in the private property Ex hacienda de Almolonga, Técpan de Galeana, Guerrero. Classic models of dominant height growth in forest biometrics (Chapman-Richards, Weibull, McDill-Amateis and Hossfeld I) were fitted with the approach of algebraic difference (ADA) and generalized algebraic difference (GADA). The objective was to modeling the growth in dominant height and determine the site index. The results indicate that the best model was that of Hossfeld I under the GADA approach, it was the one that obtained the highest adjusted coefficient of determination and low estimation errors (<1 m). This selected model was used to construct of site index curves at a base age of 20 years. Its use is recommended to determine the site index and qualify the levels of timber productivity in the commercial forest plantation of *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

Keywords: model, dominant height, site index curves, Hossfeld I.

Citación: AVILA-PEREZ Humberto¹ †, FIERROS-MATEO Reynol²*, NAVA-NAVA Adan². **Modelos de crecimiento en altura dominante y turno técnico para diferentes índices de sitio** Foro de Estudios sobre Guerrero. 2022. Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 – 142

*Correspondencia al Autor (fierros_mateo@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142

arboladas existe una gran cantidad de metodologías, las cuales suelen dividirse en métodos directos y métodos indirectos; sin embargo, los más utilizados son los métodos indirectos, ya que son mucho más confiables que los métodos directos, además de que su utilidad práctica ya ha sido probada y aceptada; estos métodos se pueden clasificar en cuatro grupos: Tablas de incremento y producción, Método del taladro de Pressler, Método de control y Análisis troncal (Ramírez y Torres, 1985; Klepac, 1983). Esta investigación se realizó en la Hacienda de Almolonga con el objetivo de ajustar modelos de crecimiento en altura dominante en una plantación forestal comercial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

Introducción

México es catalogado como uno de los 12 países mega diversos, gran parte de su superficie está cubierta por bosques y selvas (Sarukhán *et al.*, 2009), posee una superficie arbolada mayor a 64.8 millones de hectáreas, de las cuales 270 mil pertenecen a Plantaciones Forestales Comerciales, siendo Veracruz, Tabasco, Campeche, Chiapas y Puebla los líderes en este esquema (López *et al.*, 2017). Pero es necesario realizar evaluaciones en las plantaciones forestales, porque a través de estudiar el incremento de las variables como: altura, diámetro normal, volumen maderable y área basal en un periodo de tiempo determinado se puede conocer si es exitosa. (Klepac, 1983). La información que se obtenga a través de la evaluación dasométrica servirá a los propietarios de predios forestales y a los técnicos en la materia para tomar decisiones sobre la inversión en proyectos de estas características (Musalém, 2005). Un modelo de crecimiento en altura dominante y su correspondiente expresión de índice de sitio, permite estimar la productividad de la masa forestal y ayuda a definir el régimen de manejo silvícola (Tamarit-Urias *et al.*, 2014).

En la actualidad, los modelos matemáticos son una de las herramientas analíticas más usadas para generación de conocimiento en el estudio del crecimiento y reproducción de masas forestales sujetas a un régimen de cultivo (Arteaga, 2001), por ello las plantaciones forestales han sido objeto de estudio con el fin de saber y estimar su productividad en un determinado intervalo de tiempo, así mismo su comportamiento en diferentes condiciones climatológicas (Ramírez y Torres, 1985). Para determinar el incremento de las masas

Objetivos

Ajustar modelos de crecimiento en altura dominante y calcular el turno técnico para diferentes índices de sitio en una plantación comercial de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en una plantación de *Pinus maximinoi* H.E. Moore ubicada en el predio particular denominado Ex hacienda de Almolonga, municipio de Técpan de Galeana, Guerrero (Figura 1). Dicha plantación cuenta con una extensión de 20 hectáreas y se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas: 17°18'25" de latitud Norte y 100°29'23" de longitud Oeste y se sitúa entre 850 - 1200 msnm.

Artículo

Medio Ambiente y Recursos Naturales

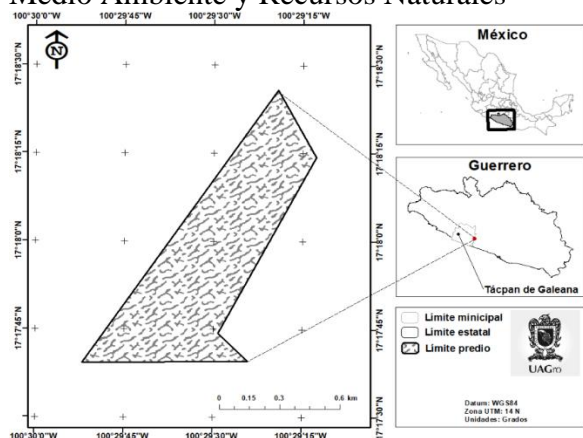


Figura 1. Ubicación geográfica del área de la plantación de *Pinus maximinoi* H.E. Moore

En el lugar predomina el bosque de pino-encino, clima templado del tipo AW₂ (W), suelo cambisol eutrítico+feozem haplico+grueso limoso (INEGI, 2009). La zona de estudio pertenece a la región hidrológica Río Atoyac, Río Tecpan en la cual encontramos diversas corrientes superficiales. La precipitación total anual es de 950 mm; en los meses de mayo a noviembre se presenta una precipitación pluvial media de 1,250 mm (Mata y Obregón, 2007). *Pinus maximinoi* H.E. Moore puede llegar a medir desde 20 a 30 metros de altura, con un diámetro de 100 centímetros, su corteza lisa y delgada de 2 a 4 cm en placas grandes rectangulares, cuando es vieja tiende a quebrarse en plaquetas elongadas con fisuras que presentan una coloración café rojiza en la parte interna mientras que la externa es color gris (Chaman, 2015). Presenta hojas de cinco acículas por fascículo, con una longitud de 20 a 27 centímetros y 0.7 a 0.1 milímetros de ancho. Conos ovoides u oblongos, simétricos de color marrón-rojizo, con dimensiones de 5 a 8 centímetros de largo y de 4 a 7 centímetros de ancho. Madera: presenta un color castaño pálido, superficie lustrosa, olor agradable y sabor característico, textura fina y grano recto.

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142
Presenta un peso específico de 0.44 a 0.50 g/cm³, liviana, moderada fácil de trabajar, fácil de tratar con preservantes, y con buena velocidad al secado, con la característica de no presentar defectos (Pérez, 2009).

Análisis dasométrico. Para el conteo de los anillos de crecimiento las secciones extraídas se analizaron de la manera siguiente. La primera rodaja se extrajo a la altura del tocón, la segunda a 1.30 m y posterior a cada 2 metros hasta alcanzar el ápice del árbol (Klepac, 1983). Una vez colectados los datos se procedió a determinar la edad y la altura verdadera se empleó el método de (Carmean, 1972), modificado por Newberry (1991), ya que con este se han tenido buenos resultados en otras investigaciones (Dyer y Bailey, 1987; Fabbio *et al.*, 1994; Castillo *et al.*, 2013; Castillo *et al.*, 2018).

El ajuste estadístico de los modelos se realizó con el procedimiento Modelo en SAS 9.4 (SAS, 2016), donde fue capturada la base de datos, se obtuvieron los estadísticos descriptivos, estadísticos de bondad de ajuste para los modelos de crecimiento en altura dominante, comparación de los modelos ADA y GADA, curvas de índice de sitio, distribución de los residuales y curvas de ICA e IMA.

Resultados

Todos los modelos generaron ajustes satisfactorios (Cuadro 1), los 4 modelos dan una similitud casi igual en los valores RCME (raíz cuadrada medio del error) que tiene como resultado 1.6 metros. Los valores mayores de R²_{abj.}, (coeficiente de determinación ajustado.) fueron los modelos de McDill-Amateis y Hossfeld I pues explicaron que el 88.4% de la varianza total de la altura dominante en función a la edad. El mejor ajuste fue el de Hossfeld I

Artículo

Medio Ambiente y Recursos Naturales tuvo parámetros significativos y su error estándar fue menor, contrario a los demás modelos.

Modelo	Parámetro	Estimación	EE	Pr > t	RCME	R ² adj
Chapman-Richards	b_0	22.535	6.14	< 0.0001	1.674	0.883
	b_1	0.139567	2.97	0.0034		
	b_2	1.63348	4.7	< 0.0001		
Weibull	b_0	20.73794	6.8	< 0.0001	1.678	0.883
	b_1	0.044242	6.02	< 0.0001		
	b_2	1.416538	8.78	< 0.0001		
McDill-Amateis	b_0	27.23962	4.36	< 0.0001	1.673	0.884
	b_1	32.77553	5.42	< 0.0001		
	b_2	1.549105	6.19	< 0.0001		
Hossfeld I	b_0	1.065799	2.92	0.004	1.671	0.884
	b_1	0.326296	2.99	0.0033		
	b_2	0.027671	3.61	0.0004		

EE: error estándar; RCME: raíz cuadrada medio del error; R²adj: coeficiente de determinación ajustado.

Cuadro 1. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros estimados para los modelos base de crecimiento en altura dominante

Una investigación similar fue la de Fierros-Mateo *et al.*, (2017), quienes en su trabajo de crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus chiapensis* en Tlatlauquitepec, Puebla, México, ajustaron dos modelos que son buenos candidatos para realizar estimaciones estos fueron los de Schumacher y Chapman Richards. Los resultados muestran poca diferencia en el ajuste de los modelos. El modelo de Chapman Richards de dos parámetros presentó una ligera superioridad en los estadísticos de ajuste, por lo que se consideró el mejor modelo. Ambas ecuaciones generaron una asíntota cercana a 18 m, coeficiente de determinación ajustado obtuvo un 88.5% de la varianza de altura total. Para el caso Vargas-Larreta *et al.*, (2013), los resultados de bondad los dos modelos que mejor se ajustaron fueron los del modelo de Bertalanffy-Richards y Hossfeld. Donde demostraron con base en los valores de raíz cuadrada medio del error (aproximadamente 0.63 m) y el coeficiente de determinación ajustado no hubo diferencias importantes entre los modelos ajustados que explicaron aproximadamente 99

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142 % de la varianza total. Otro ejemplo que sus resultados fueron diferentes es el de Castillo-López *et al.*,(2018), donde aplicaron modelos dinámicos de índice de sitio para cuatro especies de pino en Oaxaca los modelos que mejor ajuste tuvieron es el Korf, Hossfeld y Bertalanffy-Richards donde determinaron que los ajustados coeficiente de determinación ajustado demuestran que es posible explicar más de 96 % de la varianza observada en el crecimiento en altura dominante y para la variante de raíz cuadrada medio del error oscilan entre los 1.18 metros para el *Pinus douglasiana* y 1.85 m para el *Pinus patula*. El ajuste de los modelos fue satisfactorio, explican gran parte de la variabilidad observada (88 %) de la altura dominante, con errores de estimación bajo. Los modelos presentaron un patrón similar (Figura 2).

El modelo de Hossfeld I presentó una ligera superioridad en los estadísticos de ajuste y tendencia, por lo que fue considerado el modelo mejor al explicar el 88.4% de la varianza de altura dominante y su error promedio de estimación es menor <2 m

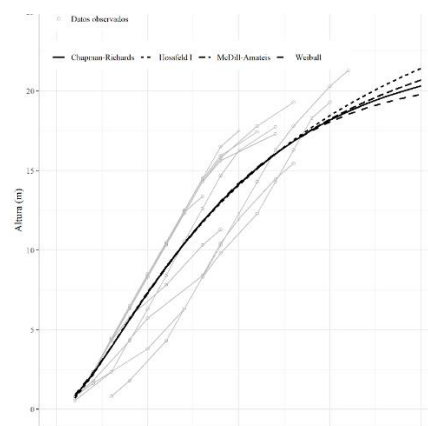
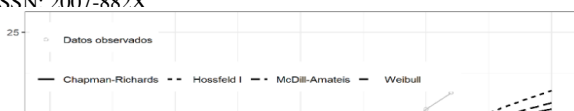


Figura 2. Comparación de los cuatro modelos base de crecimiento en altura dominante ajustados

Nava-Nava *et al.*, (2020) ajustaron ecuaciones dinámicas de diferencia algebraica ADA y

AVILA-PEREZ Humberto¹ †, FIERROS-MATEO Reynol²*, NAVA-NAVA Adan². Modelos de crecimiento en altura dominante y turno técnico para diferentes índices de sitio Foro de Estudios sobre Guerrero. 2022. mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 – 142



Artículo

Medio Ambiente y Recursos Naturales
 GADA para crecimiento en altura dominante e índice de sitio en *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Los datos usados provinieron de 66 sitios permanentes de muestreo. La mejor ecuación para modelar el crecimiento en altura dominante es la formulación GADA derivada del modelo de Bertalanffy-Richards. La altura dominante promedio a la edad base de 40 años fue de 29 m. Hernández-Cuevas *et al.*, (2018), analizaron datos de 34 individuos de *Pinus ayacahuite* con el objetivo de modelar el crecimiento en altura dominante a una edad base de 40 años. Los modelos que utilizaron fueron Schumacher, Chapman-Richards, Levakovic II, Hossefeld IV, Gompertz, por lo que obtuvieron que el modelo polimórfico b2 de Chapman-Richards en ADA mostró capacidad de predicción mayor, con una varianza total mayor a 98%, las estimaciones de los parámetros fueron significativas ($p < 0.01$), y no existieron diferencias importantes entre los modelos ajustados. Por lo tanto, recomiendan su uso para determinar el índice de sitio y clasificar los niveles de productividad maderable de rodales de *Pinus ayacahuite*. En contraste con esto, González Méndez *et al* (2016), evaluó el ajuste de tres ecuaciones dinámicas de crecimiento en altura dominante en diferencia algebraica GADA, con una edad de referencia de 15 años. Se utilizaron los análisis troncales de 55 ejemplares de *Pinus pseudostrobus*. De manera que, la fórmula tipo GADA define una familia de curvas polimórficas con asíntotas variables, lo que implica que en cada lugar existen tasas de crecimiento diferentes. Se seleccionó una expresión dinámica basada en el modelo de Chapman-Richards porque mostró la mejor calidad de ajuste; el coeficiente de determinación fue de 0.99 y la raíz del error

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142
 medio cuadrático (RMSE) 0.59 m. La familia de curvas que resultó de esta ecuación, modela con precisión la trayectoria de los datos observados para la predicción de la altura dominante e índice de sitio. En el cuadro 2 se observan los modelos ajustados bajo diferentes enfoques, como resultado se observa que el modelo de Hossfeld 1 bajo el enfoque GADA tuvo una mejor estimación de los datos en estudio y puede ser utilizado para representar el índice de sitio con mayor precisión para la especie de *Pinus maximinoi*.

Modelo	Parámetro	Estimación	EE	Pr > t	RCME	\bar{E}	R ² adj
Chapman-Richards ^a	b_0	23.01456	32.67	< 0.0001	0.58	0.177	0.986
	b_2	1.576154	30.63	< 0.0001			
Weibull ^a	b_1	0.048185	15.59	< 0.0001	0.64	0.207	0.982
	b_2	1.446195	33.1	< 0.0001			
McDill-Amateis ^a	b_0	27.95167	24.84	< 0.0001	0.58	0.175	0.986
	b_1	1.509747	40.37	< 0.0001			
Hossfeld 1 ^b	b_1	0.41505	5.76	< 0.0001	0.61	0.185	0.984
	b_2	0.027175	15.82	< 0.0001			

^a: modelos ajustados bajo el enfoque ADA; ^b: modelo ajustado bajo el enfoque GADA; EE: error estándar; RCME: raíz cuadrada medio del error; \bar{E} : sesgo promedio; R²adj: coeficiente de determinación ajustado.

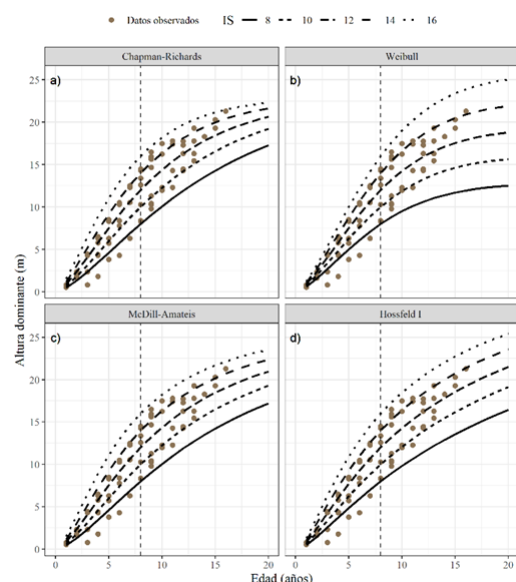
Cuadro 2. Estadísticos de bondad de ajuste y parámetros estimados de los modelos ADA y GADA

Castillo-López *et al* (2018), desarrollaron ecuaciones dinámicas de índice de sitio derivadas para *Pinus oaxacana*, *P. douglasiana*, *P. patula* y *P. pseudostrobus*. mediante el método GADA, en la Sierra Norte del estado de Oaxaca, México. Los resultados indicaron que la formulación GADA del modelo de Bertalanffy-Richards puede ser utilizada para describir con precisión el índice de sitio de las cuatro especies estudiadas. La función desarrollada es polimórfica, dinámica, invariable con la edad de referencia y tiene múltiples asíntotas. El modelo genera para las cuatro especies, estimaciones compatibles de índice de sitio y de altura dominante. Estos resultados son similares a los que obtuvieron Quiñonez-Barraza *et al.*, (2020), quienes estimaron el ICA e IMA a partir de una base de

Artículo

Medio Ambiente y Recursos Naturales
datos de 29 parcelas de remediación en el “Ejido San Diego de Tenzains” en Durango, México. Los datos obtenidos reflejaron que la ecuación polimórfica II modeló mejor la altura dominante e IS que las otras dos ecuaciones ADA, pero la ecuación GADA mostró mejor las curvas de IS sobre las trayectorias de crecimiento en altura. Para las ecuaciones polimórficas ADA, las curvas de crecimiento presentaron tasas diferentes entre cada curva de IS y asíntotas comunes, mientras que la ecuación anamórfica ADA presentó tasas de crecimiento similares entre las curvas de IS con asíntotas variables. Por otro lado, la ecuación GADA mostró curvas de IS con polimorfismo complejo.

En la figura 3 muestra la comparación de las familias de curvas de crecimiento para los índices de sitio 8, 10, 12 14 y 16 m a la edad base de 8 años para las ecuaciones dinámicas ajustadas. Se observa que las curvas obtenidas con el modelo de Hossfeld I bajo el enfoque GADA mostro un patrón de crecimiento más apegado a la trayectoria de los datos observados.



Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142
Figura 3. Curvas de índice de sitio para *Pinus maximinoi* H.E. Moore a la edad base de 8 años. a) modelo ADA polimórfico; b) modelo ADA anamórfico; c) modelo ADA polimórfico; d) modelo GADA.

Quiñonez-Barraza *et al.* (2020) para *Quercus sideroxyla* a la edad base de 60 años mostraron que la ecuación polimórfica II modeló mejor la altura dominante e IS que las otras dos ecuaciones ADA, pero la ecuación GADA mostró mejor las curvas de IS sobre las trayectorias de crecimiento en altura. Estas curvas son similares encontrados para la misma especie estudiada por Vargas-Larreta *et al.*, (2013) en el noreste del país a una edad base de 40 años, González-Méndez *et al.*, (2016) en el estado de Guerrero a un edad de referencia de 15 años, las curvas obtenidas por Maldonado-Ortiz, (2017), muestran una tendencia similar a una edad base de 35 años en coníferas en el caso de Tamarit-Urias *et al.*, (2014) para *Tectona grandis* en sus resultados se muestra que no fueron similares, el modelo que más ajuste tuvo fue el de Chapman-Richards generó curvas de índice de sitio con polimorfismo asintótico, curvas que son estadísticamente válidas para las plantaciones de teca establecidas en Campeche, México. Lo que implica que en cada lugar existen tasas de crecimientos diferentes, debido a las variaciones de las condiciones ambientales.

En la figura 4 se muestra de la distribución de los residuales mediante un gráfico de boxplot donde el modelo 4 Hossfeld I se observa que su nivel de predicción es bajo en la categoría de edad 2 el modelo esta sobre estimando los valores observados (unos subestiman en las primeras edades y sobreestiman con edades avanzadas y viceversa), este modelo va a funcionar mejor en arboles menores a 15 años.

Artículo

Medio Ambiente y Recursos Naturales

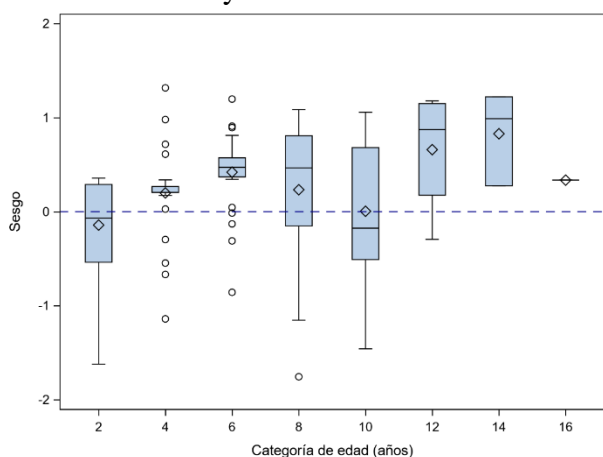


Figura 4. Distribución de los residuales con base en la categoría de edad para el modelo 4.

Hernández-Cuevas *et al* (2018), en su resultado de los residuos, se observa que en los modelos dinámicos ADA y GADA la dispersión de los residuales fue menor (-4 a 3 m), comparada con el modelo seleccionado (-6 a 8 m). Además, esta última mostró tendencia ligera a edades tempranas, la distribución de los residuales de los demás modelos no mostró evidencia de heterocedasticidad y mostró patrón aleatorio de los residuos alrededor de la línea de referencia (línea cero). Esto se debió a la naturaleza de los datos empleados en las ecuaciones dinámicas ADA y GADA, los que permitieron el ajuste simultáneo y la comparación de tasas de cambio. Para Corral-Rivas *et al.*, (2019) observaron una varianza homogénea en todo el intervalo de datos, además de que no existe un patrón sistemático en la variabilidad de los residuos. Por lo tanto, el efecto aleatorio ayudó a eliminar la heterogeneidad en la varianza. Diéguez-Aranda *et al* (2003), ellos mostraron en sus gráficos de residuos frente a valores predichos de los tres modelos que mejores resultados proporcionaron que no existen tendencias sistemáticas que indiquen la presencia de heterocedasticidad y que, de nuevo el modelo M2, presenta la a mejor apariencia

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142 gráfica. La figura 5 muestra las curvas generadas mediante el modelo de Hossfeld 1, muestran diferentes patrones de crecimiento de altura dominante para *Pinus maximinoi*. De la misma manera muestran que los turnos técnicos son distintos para cada índice de sitio. Para los sitios con una calidad alta, el turno técnico se alcanza a una edad de 5 años, mientras que para los sitios con calidad baja el turno técnico se prolonga hasta los 8 años. Cabe mencionar que los datos provienen de una plantación joven que aún no se desarrolla en plenitud.

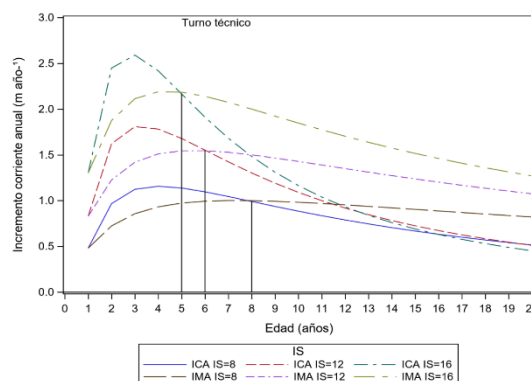


Figura 5. Curvas de ICA e IMA derivadas del M4 y representación del turno técnico para las clases de índice de sitio 8, 12 y 16 para la plantación de *pinus maximinoi* H.E. Moore.

González-Méndez *et al.*, (2016), generaron ecuaciones dinámicas de crecimiento en altura dominante e índice de sitio, a partir de datos de análisis troncales de *Pinus pseudostrobus* en el ejido El Balcón, Guerrero, México. Como resultado se obtuvo que el ICA y el IMA en altura dominante, proyectaron que el turno absoluto sucede antes de los 10 años para sitios ricos, mientras que para sitios más pobres el turno se verifica después de los 20 años. Por lo tanto, las curvas solo tienen validez en rodales con edades de hasta 25 años, para altura dominante y productividad a través del índice de sitio. Castillo-López *et al.*, (2018), evaluaron la influencia de la calidad de sitio sobre el

Artículo

Medio Ambiente y Recursos Naturales
crecimiento e incremento de una plantación de *Pinus patula* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. La base de datos se obtuvo de 30 sitios de 400 m² en donde a dos árboles dominantes de cada sitio se les extrajo una viruta para obtener el IMA e ICA. Como resultados obtuvieron que el rendimiento óptimo fue a los 8 años, con casi 2.4 mm para la calidad excelente, en contraste con 1.5 mm a los 10 años para la baja. Los incrementos en madera temprana y tardía están positivamente correlacionados con la calidad del sitio ($p=0.0001$).

Quiñonez-Barraza *et al.* (2020), estimaron el ICA a partir de una base de datos de 29 parcelas de remediación en el “Ejido San Diego de Tenzains” en Durango, México. Los resultados mostraron que el crecimiento óptimo en altura fue representado a los 76 años para todas las clases de IS a una edad de referencia de 60 años. En la ecuación polimórfica II, las clases de IS de 22 a 26 m no mostraron buen ajuste a los datos y se colapsaron, debido a la sobrestimación en las trayectorias de crecimiento para estas clases de IS. Las curvas de ICA e IMA fueron mejores con la ecuación polimórfica I y polimórfica II y a su vez la ecuación GADA mostró mejor las curvas de incremento que las ecuaciones ADA.

Conclusiones

El modelo de Hossfeld I bajo el enfoque GADA describe de manera adecuada el patrón de crecimiento en altura dominante para *Pinus maximinoi* H.E. Moore. Las curvas de crecimiento para las ecuaciones dinámicas ajustadas con el modelo de Hossfeld I bajo el enfoque GADA muestran un patrón de crecimiento apropiado a la trayectoria de los datos en estudio en comparación con los otros modelos y puede ser utilizado para representar

Foro de Estudios sobre Guerrero

Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142
el índice de sitio para la especie de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en el municipio de Tecpan de Galeana. La implementación de este modelo ayudará a definir estrategias a corto y largo plazo para una mejor planificación sobre los tratamientos silvícolas en el manejo forestal y así asegurar la perseverancia de los recursos forestales.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Ing. Miguel García y todo el personal que integra la Fábrica de Triplay de Tecpan, por brindarnos las facilidades para poder muestrear su plantación y por brindarnos información adicional acerca de la misma.

Referencias

- Arteaga-Martínez, B y Pérez-Castillo, A. (2001). *Pinus maximinoi* H.E. Moore: una especie prometedora para plantaciones forestales comerciales en el trópico. *Foresta Veracruzana* 3 (2): 60-73.
- Carmean, W. H. (1972). Site index curves for upland oaks in the Central States. *Forest Science* 18(2):109-120.
- Castillo-López, A., Santiago-García, W., Vargas-Larreta, B., Quiñonez-Barraza, G., Solís-Moreno, R., y Corral-Rivas, J. J. (2018). Modelos dinámicos de índice de sitio para cuatro especies de pino en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.185>
- Castillo-López, A., Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas, J. J., Nájera-Luna, J. A., Cruz-Cobos, F., y Hernández, F. J. (2013). Modelo compatible altura-índice de sitio para cuatro especies de pino en Santiago Papasquiaro, Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4(18): 89-103.
- Chaman-Anleu, D. Y. (2015). *Evaluación de tres concentraciones de ácido indolbutírico en combinación con dos sustratos y tres tipos de corte, para el enraizamiento de estacas vegetativas de Pinus maximinoi* HE Moore; diagnóstico y servicios realizados en el

Artículo**Foro de Estudios sobre Guerrero**

- Medio Ambiente y Recursos Naturales
proyecto mejoramiento genético de Pinus maximinoi HE Moore, [Tesis Ing. Agro.], Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Clutter, L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. y Bailey, R.L. (1983). *Timber Managment: A Quantitative Approach*. Ed. John Wiley & Sons. EEUU. P. 1-140. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19840691762>
- Corral-Rivas S., Silva-Antuna A. M. y Quiñonez-Barraza G. (2019). Modelo generalizado no-lineal altura-diámetro con efectos mixtos para siete especies de Pinus en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 10(53): 87-117* DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.500>
- Diéguez Aranda, U. Barrio Anta, M. Castedo Dorado, F. Balboa Murias, M. (2003). Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Sistema de recursos forestales*. Volumen 12. 2. 131-139
- Dyer, M. E. y Bailey. R. L. (1987). A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. *Forest Science 33(1): 3-13*.
- Fabbio, G., M. Frattegiani and M. C. Manetti. (1994). Height estimation in stem analysis using second differences. *Forest science 40(2): 329-340*.
- Fierros-Mateo, R, de los Santos-Posadas, H M, Fierros-González, M A, & Cruz-Cobos, F. (2017). Crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de Pinus chiapensis (Martínez) Andresen. *Agrociencia, 51(2), 201-214*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000200201&lng=es&tlng=es.
- González-Méndez, M. Cruz-Cobos, F. Quiñonez-Barraza, G. Vargas-Larreta B. y Nájera-Luna, J. A. (2016). Modelo de crecimiento en altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el estado de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias forestales, 7 (37): 7-20*.
- Hernández-Cuevas, M. Santiago-García W. De Los Santos-Posadas, H. M. Martínez-Antúnez P. y Ruiz-Aquino F. (2018). Modelos de crecimiento Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142 en altura dominante e índices de sitio para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Agrociencia. 52 (3): 437-453*.
- Hernández-Ramos, J., Santos-Posadas, H. M., Valdéz-Lazalde, J. R., Tamarit-Urias, J. C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., y Peduzzi, A. (2017). Estimación del volumen comercial en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* con modelos de volumen total y de razón. *Agrociencia, 51(5): 561-580*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Técpán de Galeana Guerrero.
- Klepac, D. (1983). Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2a. ed. *Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 P.*
- López Hernández, J.A., Aguirre Calderón, O.A., Alanís Rodríguez, E., Monarrez González, J.C., González Tagle, M.A., Jiménez Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla México. *Maderas y bosques, 23(1): 39-51*.
- Mata-Lechuga J.J. y Obregón-Ramos E. (2007). *Inventario físico de los recursos minerales del Municipio Tecpan de Galeana, Guerrero*. Servicio Geológico Mexicano.
- Musalém-Miguel, A. (2005). Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Evaluación de plantaciones forestales comerciales de *Tabebuia rosea* en el estado de Jalisco. 56 forestales. *Departamento de Ecología y Silvicultura. Ra Ximhai. 1 (2), 174*.
- Nava-Nava, A Wenceslao Santiago-García, G Rodríguez-Ortiz, H M. De los Santos-Posadas, F Ruiz-Aquino, E Santiago-García y M E. Suárez-Mota (2020) ecuaciones dinámicas de crecimiento en altura dominante e índice de sitio para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Rev. Fitotec. Mex. Vol. 43 (4): 461 – 470*.
- Newberry, J. D. (1991). A Note on Carmean's Estimate of Height from Stem Analysis Data. *Forest Science 37(1): 368-369*.
- Pérez-De la Rosa, J. A. y Farjón, A. (2009). Flora mesoamericana. *Pinaceae 2(1) ,1-14*.
- Prodan, M., R. Peters, F. Coxy, y P. Real. (1997). *Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible*.

Artículo**Foro de Estudios sobre Guerrero**

- Medio Ambiente y Recursos Naturales
Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica, 561 p
- Quiñonez-Barraza, G., Zhao, D., de los Santos-Posadas, H. M., & Corral-Rivas, J. J. (2020). An approximate height growth and site index model for *Quercus sideroxyla* Bonpl. in mixed-species stands of Durango, Mexico. *Revistas Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(1): 53–69.
- Ramírez, M. H. Torres, R. J. M. (1985). Análisis del desarrollo y estado actual de las experiencias prácticas y técnicas en la evaluación de plantaciones. *Tercera reunión nacional sobre plantaciones forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales*. (48), 35-43.
- Ramírez-Martínez, A., Santiago-García, W., Quiñonez-Barraza, G., Ruiz-Aquino, F., & Antúnez, P. (2016). Modelación del perfil fustal y volumen total para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Madera y Bosques*, 3(2), 61-74.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., y de la Maza, J. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. México: [Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio)]. 1: 97.*
- Spurr, S. H. (1952). *Forest inventory*. The Ronald Press Company. New York. NY. USA. 476
- Statistic Analysis System (SAS) (2016). *SAS/STAT® 14.1 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/stat/141/nlmixed.pdf> (25 de mayo de 2020).
- Tamarit-Urias, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Aldrete, A., Valdez-Lazalde J. R., Ramírez-Maldonado, H., Guerra-De la Cruz, V. (2014) Ecuaciones dinámicas de índice de sitio para *Tectona grandis* en Campeche, México. *Agrociencia* 48: 225-238.
- Tamarit-Urias, Juan C., De los Santos-Posadas, Héctor M., Aldrete, Arnulfo, Valdez-Lazalde, José R., Ramírez-Maldonado, Hugo, y Guerra-De la Cruz, Vidal. (2014). Ecuaciones dinámicas de índice de sitio para *Tectona grandis* en Campeche, México. *Agrociencia*, 48 (2), 225-238.
- Mayo 2021 - abril 2022 Vol. 9 No. 2 133 - 142
Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, O. A., Corral-Rivas, J. J., Crecente-Campo, F., & Diéguez-Aranda, U. (2013). Modelo de crecimiento en altura dominante e índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el noreste de México. *Agrociencia*, 47(1), 91-106.310.