

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento De Caoba (*Swietenia macrophylla* King) En Una Plantación De
Enriquecimiento De Acahual, A 21 Años De Establecida En Chacalapa, Pochutla, Oaxaca

Por:

NOÉ RAMÍREZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento De Caoba (*Swietenia macrophylla* King) En Una Plantación De
Enriquecimiento De Acahual, A 21 Años De Establecida En Chacalapa, Pochutla, Oaxaca

Por:

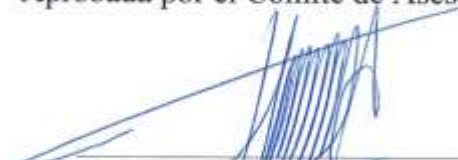
NOÉ RAMÍREZ LÓPEZ


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. Salvador Valencia Manzo
Coasesor


Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor


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



Saltillo, Coahuila, México
Junio, 2022

Derechos de Autor y Declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Pasante



Noé Ramírez López

El presente estudio de tesis ha sido apoyado y financiado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38111-425103001-2175. Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mis padres: Cipriano J. Ramírez Pacheco[†] y Angelina A. López Morales porque me dieron la vida, por la orientación que siempre me han otorgado que con ardua lucha y sacrificio constante me forjaron para alcanzar mi profesión porque gracias a sus consejos y apoyo, he llegado a realizar una de mis metas, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. “Con amor y respeto” en la memoria de mi padre, porque sé que hasta el cielo me sigues cuidando y guiando el camino que me indujiste, “DESCANSA EN PAZ”.

A mis hermanos Ricardo, javier, Marcelo, Joel y Elías; mis hermanas Cristina, Araceli y Nancy, porque gracias a su cariño, apoyo incondicional, sacrificio en algún tiempo incomprendido, comprensión y confianza me inspiraron a lograr uno de los anhelos más grandes de mi vida.

A mi abuelita Benita P. H. que me cuidó desde que era niño, me llenó de amor, cariño y felicidad de momentos inolvidables , la guerrera que más admiro y quiero, porque a pesar de todo, siempre se mostró positiva dándome siempre los mejores consejos y ánimos.

A mi abuelo Marcelino L. V. por todo el cariño, apoyo absoluto, por regalarme momentos inigualados a su lado llenos de alegría y por sus sabios consejos que me regaló.

A mis tíos (as) por el cariño y confianza que me otorgaron, que a pesar de la pérdida irreparable de mi padre siempre estuvieron dándome ánimos para poder salir adelante y por los diferentes tipos de apoyo que me brindaron.

A mis primos (as) por la gran confianza, cariño y respeto que existe entre nosotros, los apoyos incondicionales que me brindaron, por compartir muchos momentos de felicidad en la familia.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a mi tata Dios que siempre me bendice, me cuida, me guía a cada paso y decisión que doy en la vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme formar profesionalmente en el área que más quiero.

A cada uno de los académicos del Departamento Forestal, por brindar y compartir sus mejores enseñanzas para formarme como profesional.

Al Dr. Celestino Flores López por compartir sus conocimientos en mi formación profesional, por todo el apoyo que me brindó en sus materias y en este proyecto, por sus valiosos consejos, por la confianza y su amistad.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por sus enseñanzas, por el apoyo brindado para este proyecto, por su amistad y confianza.

Al Ing. Juan Morales Hernández por tenernos confianza de realizar este proyecto, su ayuda en la obtención de datos dasométricos y revisión del presente estudio.

Al Ing. Jil Cabrera por su amistad y confianza, por las facilidades que me brindó durante mi estancia en la universidad y en el proceso de elaboración del presente proyecto.

A los C. Leobardo Ambrosio Valencia, Paulino Ambrosio Ambrosio, Abelardo Jiménez Simón y al M.C. Carlos Aldaír Contreras Cruz por su valioso apoyo incondicional en la obtención de datos dasométricos de la especie de interés en la plantación de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

A mi compañera Itzel Valladares Herrera, Zaira Yamel Llanes García y Víctor Manuel Lira Moreno por el apoyo que nos brindamos en los trabajos de campo y redacción del presente estudio.

A cada uno de mis compañeros de generación CXXXIII por la amistad brindada, los momentos inolvidables que compartimos y apoyo durante nuestra formación profesional.

A los (as) mejores amistades que la UAAAN me pudo dar, José A. Celedon A., Ricardo R. (Primo), Fernando G. Humberto G. Javier S., Ever Astorga, Carlos D., Eduardo A., Rafael V., Jaime, Javier a Itzel V., Azucena T., Noemí S., Zaira Y., Marlén M., Wendy L., Verónica M. (Verito), María José F. (Compi), Teresa C., Marialuisa G., Fabiola S., Isabel S. Yareth G. y Ana de J. por la confianza y comprensión, por compartir los momentos más felices dentro como fuera de la universidad, por compartir más de una anécdota con cada uno, unas de risas, otros de enojo y hasta decepciones pero aun así permaneció la hermandad, mis mejores deseos a todos.

A la Enfermera Hilda López por la confianza y las facilidades que me brindó en el comienzo de mi carrera profesional en la UAAAN. Al Dr. Daniel la confianza, el apoyo incondicional y los ánimos que me dio en todo momento.

A Óscar Ramírez H., Lic. Maribel Santiago, Lic. Diana Santiago y Celiflora Ramírez por la bonita amistad y confianza que me brindan, los ánimos que me dieron, y los momentos felices que pudimos compartir.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Descripción de la especie.....	4
2.1.1. Características morfológicas de la especie	4
2.1.2. Características ecológicas	5
2.1.3. Usos de la especie	5
2.2. Plantaciones forestales y su clasificación	6
2.3. Enriquecimiento de acahual.....	8
2.4. Crecimiento de la Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King)	9
2.5. Modelos de crecimiento y estadísticos de validación para caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King).....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Antecedentes de la plantación de enriquecimiento.....	11
3.1.1 Establecimiento de las plantaciones.	11
3.3.1 Problemas fitosanitarios de la plantación	12
3.1.2. Establecimiento de sitios de muestreo	12

3.2. Descripción del área de estudio	13
3.3. Aspectos ecológicos.....	14
3.4. Reevaluación de sitios permanentes	15
3.5. Modelos de crecimiento.....	16
3.6. Análisis estadístico	18
3.7. Determinación de Incremento Corriente Anual e Incremento Medio Anual.....	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. Ajuste de modelos de crecimiento	19
4.1.1. Crecimiento en altura.....	19
4.1.2. Crecimiento en diámetro.....	20
4.1.3. Crecimiento en área basal	22
4.1.4. Crecimiento en volumen.....	23
4.2. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable altura.....	24
4.3. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable diámetro.....	25
4.4. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable área basal	26
4.5. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable volumen.....	27
4.6. Comparación de crecimiento con otros estudios.	28
4.6.1. Comportamiento de las curvas de crecimiento.....	28
4.6.2. Comportamiento de incremento en otros estudios de crecimiento	29
5. CONCLUSIÓN.....	31
6. RECOMENDACIÓN	32
7. LITERATURA CITADA	33
8. ANEXO	38

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Aspectos ecológicos del predio estudiado en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	14
Cuadro 2. Predio evaluado, números de sitios correspondientes, especie de interés (<i>Swietenia macrophylla</i> King) y sistemas silvícolas en los que se encuentran establecidas las plantaciones.	16
Cuadro 3. Modelos utilizados para la especie <i>Swietenia macrophylla</i> King para diferentes estudios.	17
Cuadro 4. Modelos de mejor ajuste en altura promedio para <i>Swietenia macrophylla</i> King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	20
Cuadro 5. Modelo de mejor ajuste en diámetro promedio para <i>Swietenia macrophylla</i> King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	21
Cuadro 6. Modelo de mejor ajuste en área basal promedio para <i>Swietenia macrophylla</i> King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	22
Cuadro 7. Modelo de mejor ajuste en volumen promedio para <i>Swietenia macrophylla</i> King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización geográfica de la plantación forestal comercial de <i>Swietenia macrophylla</i> King en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.....	12
Figura 2. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (1A) e incremento para altura promedio, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy (1B) para las plantaciones de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King) en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	23
Figura 3. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (2A) e incremento para diámetro promedio, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy (2B) para las plantaciones de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King) en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	24
Figura 4. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (3A) e incremento para área basal promedio, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy (3B) para las plantaciones de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King) en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	25
Figura 5. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (4A) e incremento para volumen promedio, ajustada mediante el modelo Chapman-Richards (4B) para las plantaciones de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King) en el ejido “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	26

RESUMEN

La importancia comercial de *Swietenia macrophylla* King como madera preciosa y su desarrollo en las plantaciones forestales comerciales; la presente investigación se hizo con el fin de generar datos de evaluación del crecimiento de la especie establecida como plantaciones de enriquecimiento de acahual en el predio “El Pénjamo”, situado en la comunidad de San José Chacalapa, municipio de San Pedro Pochutla, Oaxaca. En julio de 2022 se evaluaron nueve sitios permanentes con superficie de 250 m² de la especie de interés, se remidieron los parámetros, altura total, diámetro a 30 cm y diámetro normal a 1.30 m del suelo. A la evaluación de 2021 se anexaron los datos obtenidos en evaluaciones tomadas del año 2010, 2011, 2012, 2014 y 2017. La estimación del crecimiento de las variables dasométricas se emplearon los modelos no lineales de Chapman-Richards, Korf, Logístico, Von Bertalanffy y Weibull. Para la selección de los modelos mejor ajustados se consideró los criterios de coeficientes de determinación ajustados (R^2_{aj}) y los cuadrados medios del error (CME) utilizando el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0, a través de la regresión lineal utilizando PROC NLIN. El modelo que tuvo mejor ajuste para las variables altura, diámetro y área basal, fue Von Bertalanffy con un R^2_{aj} mayor y un CME menor que los demás modelos evaluados, mientras que para volumen fue el modelo Chapman-Richards. El crecimiento para altura y diámetro presentó una curva de forma exponencial invertida, mientras que para área basal y volumen mostró una curva exponencial; lo anterior indica que la plantación aún está en desarrollo. En cuanto a las curvas de incremento para diámetro, área basal y volumen aún están en estado de crecimiento y no llegan todavía al turno absoluto.

Palabras clave: modelo no lineal, crecimiento, incremento, variables dasométricas, coeficiente de determinación, turno absoluto.

ABSTRACT

The commercial importance of *Swietenia macrophylla* King as precious wood and its development in commercial forest plantations the present investigation was carried out in order to generate data for evaluation of the growth of the species established as acahual enrichment plantations in the “El Pénjamo” property. , located in the community of San José Chacalapa, municipality of San Pedro Pochutla, Oaxaca. In July 2022, 9 permanent sites with an area of 250 square meters of the species of interest were evaluated, the parameters total height, diameter at 30 cm and normal diameter at 1.30 m from the ground were remeasured. The data obtained in evaluations taken from the years 2010, 2011, 2012, 2014 and 2017 were annexed to the 2021 evaluation. Nonlinear Chapman-Richards, Korf, Logistic, Von Bertalanffy and Weibull models were used to estimate the growth of the dasometric variables. For the selection of the best adjusted models, the criteria of adjusted determination coefficients (R^2_{aj}) and the mean squares of the error (CME) were considered using the statistical software SAS (Statistical Analysis System) version 9.0, through linear regression using PROC NLIN. The model that had the best fit for the height, diameter and basal area variables was Von Bertalanffy with a higher R^2_{aj} and a lower CME than the other evaluated models, while for volume it was the Chapman-Richards model. The growth for height and diameter presented an inverted exponential curve, while for basal area and volume it showed an exponential curve; this indicates that the plantation is still under development. As for the increase curves for diameter, basal area and volume, they are still in a state of growth and have not yet reached the absolute turn.

Keywords: non-linear model, growth, increment, dasometric variables, coefficient of determination, absolute tur.

1. INTRODUCCIÓN

La plantación forestal es el bosque plantado, el cual es manejado intensivamente y que cumple con los siguientes criterios en cuanto a plantación y madurez del rodal: una o dos especies, clase de edad uniforme y espaciamiento regular y establecidas principalmente para fines productivos (FAO, 2020). Mientras que una plantación forestal comercial se conoce como el cultivo de especies forestales establecidas en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, con propósitos mercantiles (LGEEPA, 2018).

Sin embargo, la plantación de árboles tiene una importancia creciente para satisfacer las necesidades de madera y productos de madera de la población mundial en constante crecimiento, y para mejorar los niveles de vida, como así mismo para contrarrestar la menor disponibilidad de madera y otros productos forestales provenientes de los bosques naturales (Palmberg-Lerche y Ball, 1998). Para ello, el propósito de las plantaciones forestales comerciales, es obtener en el menor tiempo posible la materia prima para satisfacer las demandas de la industria forestal; al mismo tiempo genera beneficios al medio ambiente, a la población y a la economía, ya sea local, regional o nacional (Pérez, 2009).

El periodo 2000-2020 se han establecido en México 366 mil hectáreas de PFC, de las cuales 237 mil son con fines maderables con especies como el eucalipto, cedro rojo, pino, teca y melina, siendo los estados con mayor superficie plantada los correspondientes a Tabasco, Veracruz, Campeche y Chiapas (CONAFOR, 2020). Mientras que en 2018 México a nivel Nacional se tienen registradas 104 autorizaciones de plantaciones comerciales con una superficie de 54,743 hectáreas; los estados que más se destacaron por la superficie plantada fueron, San Luis Potosí, Zacatecas, Coahuila y Campeche (SEMARNAT, 2021).

Las zonas tropicales de México pueden considerarse como de gran potencial para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales, ya que considerando su posición geográfica, reciben grandes cantidades de energía solar, lo que junto con las condiciones favorables de suelo y clima que las caracterizan, permiten un crecimiento adecuado de las especies arbóreas, además de su cercanía relativa a los países consumidores presentan ventajas para la comercialización de lo que se produzca en ellas (Martínez-Ruiz R. *et al.*, 2006).

En México se establecen plantaciones comerciales y varias de estas especies son de rápido crecimiento como *Pinus spp.* y *Eucalyptus spp.* sin embargo, otras son especies preciosas como podemos encontrar géneros de *Cedrela*, *Swietenia*, *Eucalyptus*, *Tectona* y *Melina*, son especies que cubren la mayor superficie de las PFC tropicales. Los dos primeros géneros antes mencionados incluyen cedro rojo y caoba, las dos especies nativas más importantes de México por su valor en el mercado (CONAFOR. *s.f.*).

Sobre la importancia comercial, *Swietenia macrophylla* King (caoba) y *Cedrela odorata* L. (cedro) son dos especies forestales del país que por su madera preciosa han sido sometidas a aprovechamiento intensivo, cuyas existencias en bosques naturales se han visto mermadas (Bravo, 2007) eso ha generado que se establezcan plantaciones forestales comerciales para satisfacer la fuerte demanda de la industria maderera en México. A pesar de su importancia económica, hay poca o nula información cuantitativa sobre el crecimiento y desarrollo, así como rendimiento en plantaciones de la especie, para ello se desarrolla la siguiente investigación con el afán de encontrar el turno absoluto y comparar con algunos otros resultados que se haya tenido en los trabajos realizados en México.

Una de las alternativas para obtener dicha información es mediante el estudio de plantaciones, tanto las establecidas en las estaciones experimentales, como las existencias en el área de influencia de la distribución natural de la especie (García *et al.*, 1992), para ello es importante la realización del siguiente estudio para reevaluar los sitios permanentes y de esa manera conocer el comportamiento del crecimiento de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) de la plantación.

Teniendo las diferentes zonas de establecimiento existen diferentes maneras para obtener información sobre el desarrollo de las masas forestales, una forma de medición más efectiva para conocer el crecimiento de los árboles en bosques plantados es a través del establecimiento y monitoreo de las parcelas temporales o permanentes donde permiten interpretar el rendimiento del bosque para obtener información que nos permita tomar decisiones en la planificación forestal y en la hora de concluir sobre adelantar o no actividades del manejo del sitio (podas, raleos, fertilizaciones, riegos) (Nieto *et al.*, 2011); mientras que (Mollinedo *et al.*, 2016) señala que una parcela permanente PPM de monitoreo son de 1000 m² y mayoritariamente de forma rectangular, aunque todas las características topográficas de los sitios puede ser también circular donde en su caso se puede recolectar información silvícola a partir de valores de variables directas, altura total (HTOT) en metros, y diámetro a la altura del pecho (DAP).

1.1. Objetivo general

Estimar el turno absoluto para diámetro y altura de caoba (*Swietenia macrophylla* King) a 21 años de establecimiento de la plantación en enriquecimiento de acahual en Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar el mejor modelo de crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen para Caoba, establecida a 21 años en Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.
- Estimar el turno absoluto en diámetro y altura de Caoba
- Comparar los crecimientos de incrementos con plantaciones de caoba en México o el caribe.

1.3. Hipótesis

- Ho: Ningún modelo matemático utilizado es significativo para estimar el diámetro y altura en diferentes edades.
- H1: Al menos un modelo de crecimiento de los cinco evaluados es significativo para estimar el diámetro y altura en diferentes edades.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción de la especie

Swietenia macrophylla King pertenece a la familia de las meliáceas. Comúnmente se le conoce con el nombre de caoba. Los individuos alcanzan alturas hasta de 60 m y diámetros hasta de 3.5 m. Son monoicos, polígamo-dioicos y más raramente dioicos, tienen el tronco recto, con contrafuertes bien desarrollados hasta de 3 m de alto. La copa es abierta y redondeada, compuesta de ramas gruesas, ascendentes y torcidas. Es perennifolio o caducifolio, florece de febrero a abril y fructifica entre diciembre y marzo (Niembro, 2010).

2.1.1. Características morfológicas de la especie

El porte del Árbol va de 30 a 45 metros de altura y diámetro a la altura del pecho de 1.5 metros. Fuste largo y recto, cilíndrico, libre de ramas en los primeros 12-18 m, con estribaciones bien desarrolladas. La copa, abierta y redonda, tiene ramas gruesas y ascendentes, con denso follaje, y puede alcanzar hasta 20 m de diámetro. Posee corteza fisurada, de color gris y textura lisa de joven; en árboles maduros se torna marrón oscuro y textura escamosa. La corteza interna tiene un alto contenido de taninos (INAB, 2019).

Posee las hojas paripinnadas o imparipinnadas y dispuestas en espiral (compuestas), de 16-40 cm de largo, alternas y agrupadas al final de las ramillas. Cada hoja tiene 3-6 pares de hojuelas opuestas, 9-14 cm de largo por 2 a 5 cm de ancho, con el ápice agudo o acuminado, la base aguda y asimétrica, raramente obtusa y el margen entero. Los folíolos son de color verde oscuro en el haz y verde pálido en el envés. Las flores son estructuralmente perfectas debido a que están provistas de órganos sexuales masculinos y femeninas pequeñas, con cinco pétalos blanco amarillentos, agrupadas en inflorescencias paniculadas de 10 a 20

cm de largo, tienen una corola de casi 1 cm de diámetro compuesta por cinco pétalos verde-amarillentos. Son unisexuales y el árbol es monoico (Cordero y Boshier, 2003).

Los frutos son cápsulas leñosas, ovoides u oblongas, de color moreno rojizo (grisáceo en ocasiones), de 12 a 18 cm de largo por 8 cm de ancho, dehiscentes desde la base y se abre en 4 o 5 valvas mientras que el número de semillas por fruto es de 40 a 60 forman un cuerpo abultado y anguloso, de 18 a 20 mm de longitud, 12 a 14 mm de anchura y de 6 a 7 mm de grosor. Están provistas de un ala lateral oblonga, delgada, papirácea y quebradiza, de 75 a 100 mm de largo, por 17 a 30 mm de ancho, formada por un tejido esponjoso con abundantes espacios intercelulares llenos de aire (Quinto *et al.*, 2008).

2.1.2. Características ecológicas

De acuerdo a lo que menciona Cordero y Boshier (2003), crece mejor en zonas bajas con precipitación media anual de 2000-4000 mm distribuidos uniformemente o con una estación seca no mayor de cuatro meses, temperatura media anual de 24 a 28 °C. El máximo crecimiento se obtiene en suelos profundos, fértiles, húmedos, bien drenado y con el pH neutro a ligeramente alcalino. Sin embargo, puede desarrollarse en ácido; aluvial, calcáreo, arcilla, granito, laterítico y volcánico.

El principal factor limitante es su susceptibilidad al barrenador (*Hypsipyla grandella* Zeller) que provoca bifurcaciones y forma de fuste deficiente. Es una especie relativamente resistente a vientos. De jóvenes también son sensibles a incendios, mientras que los árboles más maduros lo resisten mejor, utilizándose el fuego controlado para reducir la competencia y crear condiciones más favorables para la regeneración (Cordero y Boshier, 2003).

2.1.3. Usos de la especie

Produce una de las maderas más conocidas y apreciadas del mundo para muebles y ha sido comercializada y utilizada internacionalmente por más de 400 años. Aunque se usa

principalmente para muebles y chapa decorativa, su facilidad para trabajarla y su alta resistencia. Tiene enorme valor comercial para la industria de tableros de calidad.

Como también tiene otros usos menos frecuentes como medicinas, tintes y taninos en la corteza. La infusión de la corteza y semillas se utiliza contra diarrea y fiebre. En el caso de la semilla es muy amarga y se ha empleado para calmar el dolor de muelas. Contiene aceites que también son utilizados en la preparación de cosméticos (Cordero y Boshier, 2003).

2.2. Plantaciones forestales y su clasificación

El establecimiento de plantaciones forestales comerciales en nuestro país, se ha limitado principalmente a la protección de áreas degradadas, y pocos son los ejemplos de poblaciones establecidas con fines comerciales. Debe señalarse que en la actualidad muchas industrias y organizaciones ligadas a la actividad forestal, están estableciendo o planean establecer plantaciones para satisfacer parte de sus necesidades en materia prima, ante la inminente escasez y alejamiento de las fuentes productoras en algunas regiones del país (Martínez-Ruiz *et al.*, 2006).

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 2018). Una plantación comercial forestal consiste en el establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materia prima destinada para su industrialización y/o comercialización.

Las plantaciones forestales se pueden establecerse por diversos objetivos, como son las plantaciones industriales; cuyo objetivo es la producción de materia prima para industrias madereras (madera aserrada, pulpa, tableros aglomerados, postes para minas, entre otros), por otra parte, están las plantaciones no industriales; cuyo propósitos son la producción de leña y madera para carbón, producción de madera rolliza para uso agropecuario y doméstico

en poblaciones rurales así como productos no maderables (frutales, caucho, goma, etc.) (FAO, 1982).

Las plantaciones se clasifican con base en el ecosistema utilizado, donde se encuentran: plantación en pleno, es un sistema de reforestación más utilizado, se trata de la siembra de árboles en un sitio que carece de cobertura vegetal y arbustiva, donde las especies plantadas se convierten en la especie dominante; plantación agroforestal, es el tipo que tiene como objetivo principal la producción forestal, incorporando en la plantación un cultivo agrícola o pecuario; la plantación de enriquecimiento, son las que se pueden realizar en brechas, en parcelas o en claros, tiene el objetivo de recuperar el valor comercial de los bosques naturales, sobre todo los tropicales, y la plantación de enriquecimiento con manejo de regeneración natural, es el tipo que además de incorporar individuos a través de la plantación también pretende favorecer el crecimiento de los individuos del bosque que poseen valor comercial. A través de la liberación de competencia se puede manejar la regeneración natural (Cabrera, 2003).

Otro tipo es con base al origen de las especies: se encuentra la plantación pura o monoespecífica, son las que se hacen con una sola especie, es la plantación de mayor frecuencia en los países tropicales, conservando la silvicultura clásica; y las plantaciones mixtas, son aquellas que incluyen dos o más especies combinadas en un mismo espacio geográfico, con el objetivo de proveer diferentes productos forestales e ingresos escalonados en el tiempo (Cabrera, 2003).

Las plantaciones forestales permiten restaurar y recuperar la biodiversidad al disminuir la presión sobre el uso de los recursos forestales naturales, mejora el ciclo hidrológico, la recarga de los acuíferos, la calidad del agua y restablecen el hábitat para la fauna silvestre. Las plantaciones forestales comerciales son la mejor estrategia con que cuenta la humanidad para capturar el bióxido de carbono que provoca el calentamiento de la tierra por el efecto invernadero y, además de capturarlo, lo fijan y retienen en las fibras de

madera, no importa que sean aprovechadas y empleadas por el hombre en forma de papel, cartón, muebles o construcciones (Correas, 2005).

Las plantaciones representan la alternativa de protección de aquellas áreas que, debido a sus condiciones de pendiente y profundidad, fueron sometidos por algún tipo de erosión; también desempeñan un papel importante en la protección de las cuencas hidrográficas, sobre todo, reduciendo los azolves a obras hidráulicas, lagos, lagunas y tierras corrientes abajo (Musálem, 2006).

2.3. Enriquecimiento de acahual

Un acahual se llama a la vegetación secundaria en diferentes grados de madurez originada por la agricultura migratoria, y que, según la lógica campesina, en el mediano o largo plazo volverá a convertirse en milpa, y así sucesivamente, en rotaciones; en México la deforestación ocurre a una tasa de 350 mil ha por año. Estos datos y los impactos observados en distintas áreas, han generado el interés de buscar alternativas, entre las cuales figuran el sistema tipo taungya y el acahual mejorado (Soto-Pinto *et al.*, 2011).

Un acahual mejorado o enriquecido es definido como un sistema rotacional que combina especies maderables de alto valor con las especies colonizadoras naturales de la sucesión secundaria. Las especies maderables se establecen en la primera fase del acahual antes de los cinco años y a largo plazo el acahual se reconvertirá en cultivo, una vez que los árboles alcanzan su primer turno (son cosechados) o bien se reconvertirá en un sistema permanente en el mediano plazo (Soto-Pinto *et al.*, 2011).

El enriquecimiento de acahual se define como el establecimiento de especies forestales maderables y no maderables de importancia económica en los acahuales, el enriquecimiento de acahual minimiza el riesgo de desmonte, garantiza la protección del suelo, además de ofrecer una fuente complementaria de ingresos. Las especies maderables

utilizadas son el cedro rojo, la caoba, hormiguillo, melina, teca, palo rosa y la primavera; y las no maderables son la palma camedor, la vainilla y la palma pita (Morteo-Montiel, 2011).

2.4. Crecimiento de la Caoba (*Swietenia macrophylla* King)

El crecimiento representa el desarrollo en altura, diámetro y volumen de un árbol, en el caso de los árboles tropicales se presenta de manera anual, bianual o irregular, sobre todo en los árboles jóvenes, ocasionando la formación de anillos, completos, incompletos y falsos anillos, por lo tanto, resulta muy complicado la realización de estudios para determinar el crecimiento de las especies tropicales utilizando los anillos de crecimiento (Bormann y Berlyn, 1983).

El crecimiento es un proceso dinámico, en consecuencia, su medición requiere del monitoreo permanente, aunque existe la posibilidad de realizar una evaluación dasométrica momentánea; sin embargo, esta puede ofrecer información sobre crecimientos promedios en los variables dasométricas de interés, más no es posible brindar una idea de dinámica de crecimiento (Quintero, 2005).

Ante la ausencia de anillos de crecimiento o de no conocer la edad de los árboles de *Swietenia macrophylla* King, a partir de mediciones periódicas del diámetro normal y el método de tiempo de paso, es posible estimar las edades y calcular los crecimientos e incrementos en diámetro de forma confiable (Hernández-Ramos *et al.*, 2020)

2.5. Modelos de crecimiento y estadísticos de validación para caoba (*Swietenia macrophylla* King)

Los modelos de predicción de crecimiento por lo general proporcionan información cuantitativa, pero también llevan intrínseca información de tipo ecológico y de planificación ambiental; para ello el uso de modelos matemáticos en el manejo forestal, permite describir de forma cuantitativa algunas relaciones de incremento mediante funciones continuas de tipo sigmoideal, que proporcionan una valiosa ayuda en la toma de decisiones de manejo forestal,

para la obtención de una producción sostenida y constante de las masas arboladas, preservándolas y fomentándolas para futuras generaciones (Cuevas *et al.*, 1992).

Para ello, en el siguiente estudio se ocuparon modelos que más se utilizan en la especie; mientras que los criterios para la selección de los mejores modelos estimados fueron el coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado y el cuadrado medio del error, debido a que son considerados como los mejores criterios de selección de modelos (Sit y Poulin-Coatello, 1994).

En un estudio hecho por Quintero (2005) en la misma comunidad para dos especies tropicales, el modelo que tuvo mejor ajuste fue la ecuación de Von Bertalanffy y Chapman-Richards con una $R^2_{aj} = 0.7547$, mientras que otro estudio realizado para la determinación del índice de sitio para las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco, se ocuparon siete modelos (Wescom, Korf, Weibull, Logístico, Von Bertalanffy, Chagoya y Monomolecular) donde presentaron ajustes y eficiencias cercanas, sin embargo, el modelo de Korf fue el modelo que mejor ajustó con un $R^2_{aj} = 0.8015$, permitiendo caracterizar el crecimiento de la especie (Pérez, 2009).

La ecuación resultante que tuvo otro estudio efectuado por Sandoval (2010) para el estudio de crecimiento en altura dominante para tres especies tropicales en una plantación de acahual enriquecido en la comunidad de San José Chacalapa, Oaxaca; los modelos que presentaron el valor estadístico más alto, en este caso el coeficiente de determinación ajustada, fueron Chapman-Richards y Weibull con un valor de $R^2_{aj} = 0.9598$.

Hernández-Ramos (2020) señala que Verhulst-Logística asume que, en las etapas iniciales del individuo, el crecimiento es exponencial hasta alcanzar un punto de inflexión y después inicia su disminución con un parámetro de autolimitación; siendo el modelo que mejor ajustó en su estudio que se hizo para el crecimiento absoluto de *Swietenia macrophylla* King en Quintana Roo, México, con un coeficiente de determinación ajustado de 0.9598.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Antecedentes de la plantación de enriquecimiento

Los predios que actualmente están establecidas las plantaciones, fueron terrenos destinados a la agricultura y la ganadería extensiva, practicándose en ellos el sistema Roza-Tumba-Quema (RTQ), posteriormente fueron abandonados al disminuir su productividad y con el paso del tiempo estos terrenos fueron cubiertos por acahuales, estos aumentaron su tamaño conforme fueron pasando los años, creando así sombra para los doseles inferiores y por su situación caducifolia, la hojarasca da protección al suelo, favoreciendo así la sobrevivencia de las plantas en la temporada de sequía (Morales, 1997).

De acuerdo con Morales (2022) la obtención de semillas de *Swietenia macrophylla* King que se ocuparon para la producción de plántulas y posteriormente en las plantaciones en los predios tuvieron dos orígenes, uno de ellos proviene de un vivero oficial y plantación forestal Boca del Monte del señor Esteban Méndez Gómez ubicado en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca; mientras que la segunda parte se obtuvo con semillas adaptadas en la misma plantación de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

3.1.1 Establecimiento de las plantaciones.

Las plantaciones fueron realizadas en los predios “El Pénjamo”, “El Mango”, “El Carnizuelo”, “Sin Nombre”, “Arroyo Rico”, “El Riego” y “La Galera”, utilizando la mezcla de especies: *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Tabebuia donell-smithii* Rose, la cual se estableció en los meses de junio-julio de 1997, durante las primeras lluvias antes del periodo conocido como “canícula” con una densidad de 1,111 plantas/ha a un espaciamiento de 3 x 3 m entre plantas e hileras (Morales, 1997).

3.3.1 Problemas fitosanitarios de la plantación

Uno de los principales problemas que presenta la plantación destaca el ataque de barrenador de yemas, (*Hipsiphyla grandella* Zeller), y barrenador de tallo (*Chrysobothris yucatanensis* Van Dyke) en estado larvario, siendo las principales especies afectadas, al cedro rojo y la caoba. Otro de los problemas más notorios en la plantación son los daños causados por la insolación, por las hormigas género *Pseudomyrmex* y manchas foliares (García, 2005).

3.1.2. Establecimiento de sitios de muestreo

El diseño de muestreo que se utilizó fue el sistemático, con el primer sitio aleatorio que definió la distribución de sitios, la intensidad de muestreo fue de 0.5% quedando los sitios distribuidos a una equidistancia de 140 m. Los sitios fueron de forma circular de 250 m² con un radio de 8.92 m (Sandoval, 2010).

Se establecieron un total de 40 sitios permanentes en los predios “El Pénjamo”, “El Cornezuelo”, “El Mango”, “Sin Nombre”, “El Riego”, “Arroyo Rico” y “El Triunfo”, colocando una placa metálica en la base del árbol, la cual indica el número del sitio y el predio al que pertenece, cada sitio fue georreferenciado y los árboles que se encontraban dentro del sitio fueron numerados con la finalidad de facilitar su localización y evaluación en mediciones posteriores (Sandoval, 2010).

La evaluación de la plantación se ha realizado en varias ocasiones, el primer registro que se tiene en la base de datos fue del 2010 y la última fue del 19 al 21 de julio del 2021. Para la realización de estas evaluaciones se ha necesitado la ayuda del personal encargado de las plantaciones, para poder ubicar cada uno de los sitios de muestreo; esto tiene la finalidad de conocer la dinámica de crecimiento de la especie de interés desde el año de crecimiento hasta alcanzar el turno de aprovechamiento.

3.2. Descripción del área de estudio

El presente estudio se hizo en la plantación de enriquecimiento de acahual establecido en el predio “El Pénjamo” como se muestra en la (Figura 1), localizado en la comunidad de San José Chacalapa, distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca, dentro de las coordenadas geográficas 15° 50' latitud norte y 96° 28' longitud oeste, a una altitud de 220 msnm (INEGI, 2000).

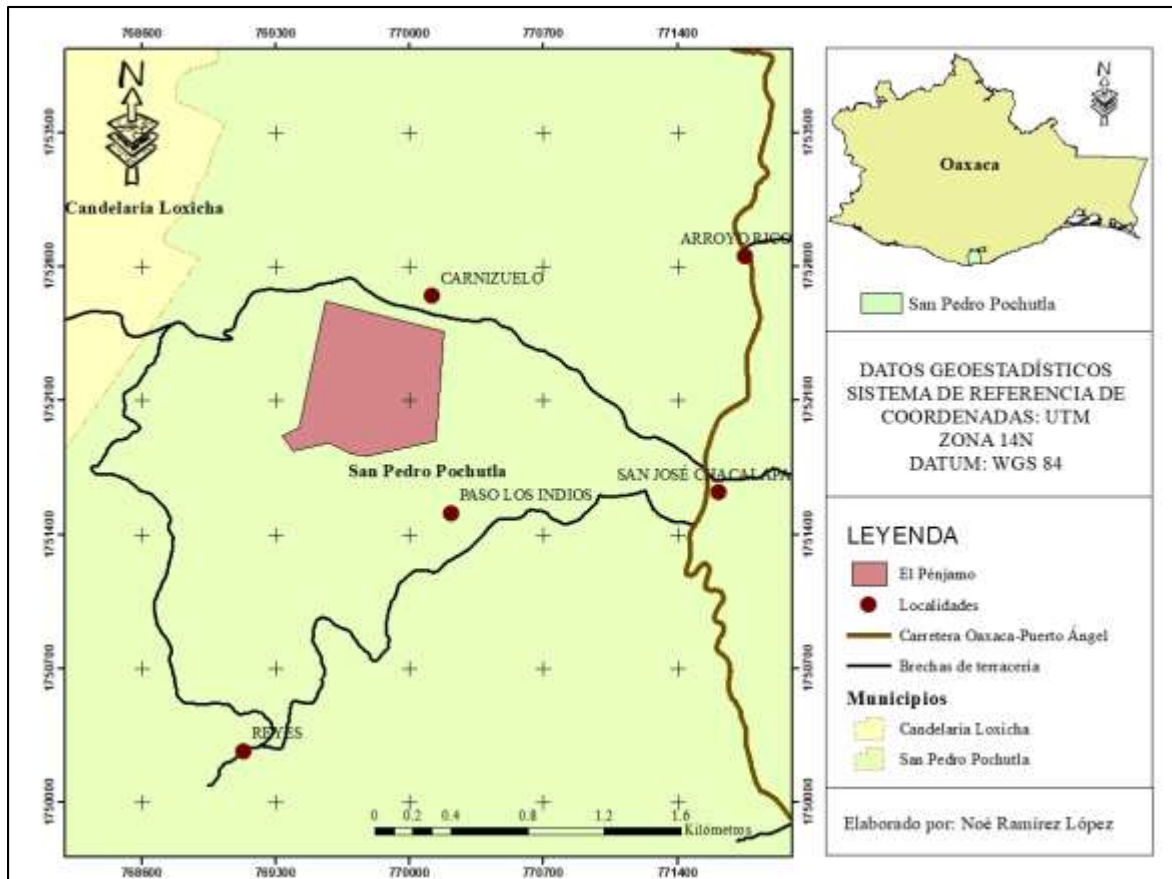


Figura 1. Localización geográfica de la plantación forestal comercial de *Swietenia macrophylla* King en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Cuadro 1. Aspectos ecológicos del predio estudiado en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Características	Predio “EL Pénjamo”
Orografía	Provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur. Pequeños lomeríos con pendientes 5 a 40 % y una elevación que van desde 200 a 400 msnm.
Edafología	Regosol éutrico y feozem áplico.
Hidrología	RH-21 (Costa de Oaxaca). Cuenca C (Río Copalita). Subcuenca C (Río Tonameca).
Clima	AW0 (W) igw.

Fuente: (INEGI, 2010).

3.3. Aspectos ecológicos

El predio “El Pénjamo” ubicado en San José Chacalapa, hablando de orografía (Cuadro 1) está conformado por lomeríos cuyas pendientes oscilan entre los 5 a 40% y una altitud que va desde 200 a 400 msnm (INEGI, 2010).

En cuanto a la hidrología (Cuadro 1) del predio se encuentra dentro de la región hidrológica de RH-21 Costa de Oaxaca (Puerto Ángel), en la cuenca C correspondiente a Copalita, mientras que la subcuenca “C” del río Tonameca (INEGI, 2000).

El tipo de suelo predominante en San José Chacalapa, corresponde a un Regosol éutrico (Cuadro 1) característicos por ser claros y de profundidad moderada o alta; pero también se observan suelos feozem háplicos, ricos en materia orgánica que presentan un color oscuro y carecen de un horizonte cálcico (INEGI, 2000).

Con respecto al clima (Cuadro 1) y de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García, pertenece a un grupo de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano AW₀ (W) igw, con una precipitación media anual de 872 mm y una temperatura media anual de 26.8 °C, los meses de mayor precipitación son de junio a septiembre y los meses de menos precipitación son de enero a abril, mientras que las temperaturas más altas se presentan de abril a agosto (García, 1981; INEGI, 2000)

En el predio “El Pénjamo” existen relictos que permiten determinar que existió una vegetación correspondiente a una selva mediana caducifolia, pero debido a las prácticas agrícolas muy intensas, grandes extensiones de selvas fueron eliminadas, generándose así una vegetación secundaria conocida como acahuales (Morales, 1997). El tipo de vegetación original fue de selva baja caducifolia, en donde predominan las especies como: *Enterolobium cyclocarpum* (Jack.) Griseb. (Parota, huanacastle), *Brosimum aliscas* Trum Swartz (Ramón, capomo, ojoche), *Gliricidia sepium* Jack. (Cocoite, cacahuananche), *Astronium graveolens*, Jack. (Gateado), entre otras (Rzedowski, 2006; INEGI, 2010).

En el predio “El Pénjamo” ubicado en San José Chacalapa se puede observar una variedad de fauna. Entre las que destacan: armadillo (*Dasypus novemcinctus* L.), conejo (*Silvilagus cunicularius* Waterhouse), iguana prieta (*Ctenosaura similis* Gray), nauyaca (*Porthidium dunnii* Hartweg y Oliver), tlacuache (*Didelphis marsupialis* L.), víbora de cascabel (*Crotalus spp.*) y zorrillo (*Mephitis macroura* Lichtenstein) (INEGI, 2010).

3.4. Reevaluación de sitios permanentes

Se reevaluaron nueve sitios permanentes de 250 metros cuadrados (Cuadro 2), cada árbol por sitio se evaluó la altura total (m) y diámetro normal a 1.30 m del suelo, DAP (cm). Se necesitó el siguiente equipo: cintas diamétricas (Jackson) para medir los diámetros, una pistola (Haga) para medir alturas de los árboles, placas metálicas para la identificación de los sitios, una cuerda compensada para la delimitación de las parcelas de muestreo y un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la georreferenciación de las parcelas permanentes de muestreo.

Cuadro 2. Predio evaluado, números de sitios correspondientes, especie de interés (*Swietenia macrophylla* King) y sistemas silvícolas en los que se encuentran establecidas las plantaciones.

Población	Predio	Sitios N°	Especies establecidas	Sistema silvícola
San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	El Pénjamo.	2-6, 8,10,13 y 14.	<i>Cedrela odorata</i> L., <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.	Enriquecimiento de acahuales.

La evaluación se realizó del 19 al 21 de julio del 2021 en cada uno de los sitios que contenía la especie de interés (*Swietenia macrophylla* King). Aparte de los datos recabados en esta evaluación, se anexaron los datos obtenidos en el 2010, 2011, 2012, 2014 y 2017. Para el levantamiento de los datos se contó con el apoyo de los trabajadores, el asesor técnico de la plantación, un ingeniero de apoyo, compañeros y asesor, para la ubicación de cada uno de los sitios. Algunos de las actividades que se efectuaron se pueden presenciar en las imágenes que aparecen en Anexo 1.

3.5. Modelos de crecimiento

Los modelos utilizados en este estudio, son los más frecuentes para estimar y predecir el crecimiento y productividad de las masas forestales en especies tropicales, en el Cuadro 3 se muestran las ecuaciones de crecimiento que se tomaron en otros estudios que trabajaron con la misma especie (*Swietenia macrophylla* King) y además son los que mejor tuvieron ajuste en cuando a los valores de coeficiente de determinación ajustado y el cuadrado medio del error.

Cuadro 3. Modelos utilizados para la especie *Swietenia macrophylla* King para diferentes estudios.

Modelos	Ecuación	Especie	Autor
Chapman-Richards	$Y = a(1 - e^{-aX})^c$	<i>Swietenia macrophylla</i>	(Sandoval, 2010)
Korf	$y = ae^{-bt^c}$	<i>Swietenia macrophylla</i>	(Pérez, 2009)
Verhulst-Logística	$Y = a / (1 + e^{b - cX})$	<i>Swietenia macrophylla</i>	(Hernández-Ramos, 2020)
Von Bertalanffy.	$Y = a(1 - e^{-bX})$	<i>Swietenia macrophylla</i>	(Quintero, 2005)
Weibull	$Y = a(1 - e^{-aX^b})$	<i>Swietenia macrophylla</i>	(Sandoval, 2010)

Donde: Y = Parámetros promedio (altura, diámetro, área basal y volumen), X = edad de la plantación en años, a, b, c = coeficientes del modelo a estimar, e = función exponencial.

Fuente: Sit y Poulin-Coatello (1994).

Una vez teniendo los modelos, en la base de datos que se recabaron en campo se calculó el volumen total de la especie *Swietenia macrophylla* King, con la ecuación resultante para la elaboración de tablas de volumen en Colima y Jalisco por García-García *et al.* (2021), ya que son lugares que se asemejan con las condiciones de clima, temperatura media y precipitación, permitiendo la distribución y desarrollo de la misma especie (INEGI, 2010; García-García *et al.*, 2021).

$$V = 0.319658 (D^2A)^{1.000598}$$

Donde:

V= Volumen total

D = Diámetro normal y

A = Altura total de la especie.

3.6. Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos y ajuste de cada uno de los modelos probados se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0, a través de la regresión lineal utilizando PROC NLIN; se ingresó las ecuaciones de los modelos, eligiendo los valores iniciales de los parámetros que se estimaron hasta lograr generar los dichos parámetros que mejor ajusten. De esa manera se fueron ajustando los modelos de predicción para cada uno de los variables dasométricas de la especie, tomado como criterio de selección, el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) con el valor más alto y el cuadrado medio del error (CME) con el valor más bajo.

Después de haber obtenido los valores de ajustes para cada modelo en cada parámetro de la especie, se procedió a la elaboración de las gráficas con la ayuda del programa SigmaPlot versión 10.0.

3.7. Determinación de Incremento Corriente Anual e Incremento Medio Anual

Expresa el crecimiento ocurrido entre el inicio y el final de la estación de crecimiento, también es conocido como crecimiento acumulado, incremento corriente anual (ICA) o simplemente como incremento anual (IA), correspondiendo a lo que el árbol creció en el periodo de un año (Imaña y Encinas, 2008).

Donde:

$$ICA = Y_{(t+1)} - Y_{(t)}$$

ICA = Incremento Corriente Anual.

Y = Dimensión de la variable considerada.

t = Edad.

Mientras que el valor del incremento o crecimiento medio anual (IMA) expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol. Expresa, por tanto, la media anual del crecimiento para cualquier edad (Imaña y Encinas, 2008).

Donde:

$$IMA = Y_t / t_0$$

IMA = Incremento medio anual.

Y = Dimensión de la variable considerada y

t_0 = Edad a partir del tiempo cero.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ajuste de modelos de crecimiento

4.1.1. Crecimiento en altura

El resultado que se obtuvo en cuando al crecimiento en altura de *Swietenia macrophylla* King, de los cinco modelos que se examinaron (Chapman-Richards, Korf, Logístico, Von Bertalanffy y Weibull), en el Cuadro 1 se presentan los resultados de los valores del coeficiente de determinación ajustado que determinó la selección del modelo, el que más se ajustó en cuando los valores estadísticos más altos fue Von Bertalanffy con un coeficiente de determinación ajustada $R^2_{aj} = 0.88990$ con un CME = 3.6518 quedando como el modelo que se puede construir la curva de crecimiento en altura. Sin embargo, los otros cuatro modelos tuvieron valores cercanos, siendo el modelo de Korf el más bajo de valor de coeficiente de determinación ajustado.

El resultado encontrado en este estudio, el modelo fue diferente con Sandoval (2010), para altura dominante de *Swietenia macrophylla* se ajustó el modelo de Chapman-Richard con $R^2_{aj} = 0.9842$, mientras que en su estudio de Santiago (2012), el modelo ajustó en la misma plantación para *Swietenia macrophylla* King fue Weibull con $R^2_{aj} = 0.8884$. Después a Velásquez (2018) le ajustó el modelo de Weibull en la variable de altura con $R^2_{aj} = 0.8808$ en la misma plantación para *Swietenia macrophylla* King.

Cuadro 4. Modelos de mejor ajuste en altura promedio para *Swietenia macrophylla* King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

	Modelo	Parámetros	Estimación	P<t	R ²	R ² _{aj}	CME	RCME
Altura	Chapman-Richards	B0	10.8351					
		B1	0.0882	<.0001	0.8897	0.8888	4.2355	2.0580
		B2	1.4298					
	Korf	B0	2.1208					
		B1	0.0568	<.0001	0.8635	0.8629	4.5126	2.1243
		B2	1.3334					
	Logístico	B0	7.9635					
		B1	2.6282	<.0001	0.8870	0.8862	3.7458	1.9354
		B2	0.3198					
	Von Bertalanffy	B0	15.4628					
		B1	0.0393	<.0001	0.8896	0.8890	3.6518	1.9110
	Weibull	B0	10.5727					
		B1	0.0370	<.0001	0.8897	0.8888	4.2362	2.0582
		B2	1.2430					

P<t=Nivel de significancia, R²=coeficiente de determinación, R²_{aj}=coeficiente de determinación ajustado CME=cuadrado medio del error, RCM= Raíz del cuadrado medio del error y B0 B1 B2= parámetros del modelo. Nota: El modelo sombreado con color gris, fue el modelo seleccionado de mejor ajuste para la variable.

4.1.2. Crecimiento en diámetro

En cuando al crecimiento en diámetro de *Swietenia macrophylla* King, de los cinco modelos que se examinaron, de acuerdo a los valores estadísticos que más se ajustó conforme al coeficiente de determinación ajustado y el cuadrado medio del error fue el modelo de Von Bertalanffy con un R²_{aj} = 0.88359149 con un CME = 3.8101 respectivamente, sin embargo, los demás modelos tuvieron valores cercanos, mientras que Korf fue al modelo con menor valor estadístico como se puede observar en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Modelo de mejor ajuste en diámetro promedio para *Swietenia macrophylla* King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

	Modelo	Parámetros	Estimación	P<t	R ²	R ² _{aj}	CME	RCME
Diámetro	Chapman-Richards	B0	14.1728					
		B1	0.0649	<.0001	0.8665	0.8654	6.8031	2.6083
		B2	1.2327					
	Korf	B0	2.3801					
		B1	0.0576	<.0001	0.8422	0.8414	6.9280	2.6321
		B2	1.3334					
	Logístico	B0	9.2113					
		B1	2.5782	<.0001	0.8636	0.8626	6.0017	2.4498
		B2	0.3078					
	Von Bertalanffy	B0	18.881					
		B1	0.0359	<.0001	0.8665	0.8659	5.8605	2.4208
	Weibull	B0	13.9046					
B1		0.0376	<.0001	0.8665	0.8654	6.8034	2.6083	
B2		1.1466						

P<t=Nivel de significancia, R²=coeficiente de determinación, R²_{aj}=coeficiente de determinación ajustado, CME=cuadrado medio del error, RCM= Raíz del cuadrado medio del error y B0 B1 B2= parámetros de modelo. Nota: El modelo sombreado, con color gris, fue el modelo seleccionado de mejor ajuste para la variable.

De acuerdo a lo anterior coincide el modelo que encontró Quintero (2005) para Coba y cedro en la misma plantación siendo Von Bertalanffy y Chapman-Richards con un coeficiente de determinación ajustado entre ambos es de 0.7782 y el menor cuadrado medio del error de 4.2404, mientras que otros trabajos que se han hecho en la misma plantación como es Sandoval (2010) encontró que el modelo mejor ajustado para diámetro fue Chapman-Richards con un coeficiente de determinación (R²_{aj}) igual a 0.9761 y CME = 0.5005, mientras que en el resultado que encontró Santiago (2012), fue el modelo de Weibull con un R²_{aj}=0.8150; del estudio que realizó Velásquez (2018) con la misma especie y misma plantación le ajustaron dos modelos como son Chapman-Richards y Weibull teniendo igual

los valores de coeficiente de determinación y cuadrado medio del error respectivamente: $R^2_{aj} = 0.8571$ y $CME = 6.1083$.

4.1.3. Crecimiento en área basal

Para el crecimiento en Área Basal de *Swietenia macrophylla* King, de los cinco modelos que se examinaron para este parámetro (Cuadro 6), de acuerdo al valor estadístico más alto, el modelo que mejor ajustó fue Von Bertalanffy con coeficiente de determinación ajustado de 0.6678 y con un $CME = 0.0000082$, sin embargo, el resto de los modelos que tuvieron valores cercanos como se puede observar en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Modelo de mejor ajuste en área basal para *Swietenia macrophylla* King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

	Modelo	Parámetros	Estimación	P<t	R ²	R ² _{aj}	CME	RCME
Área Basal	Chapman-Richards	B0	0.0246					
		B1	0.0425	<.0001	0.6705	0.6674	0.0000095	0.0031
		B2	1.9849					
	Korf	B0	0.000932					
		B1	0.0848	<.0001	0.6619	0.6605	0.0000083	0.0029
		B2	1.3334					
	Logístico	B0	0.00944					
		B1	3.2318	<.0001	0.6686	0.6663	0.0000082	0.0029
		B2	0.2432					
	Von Bertalanffy	B0	-0.00383	<.0001	0.6695	0.6678	0.0000082	0.0029
		B1	-0.0582					
	Weibull	B0	0.0182					
		B1	0.00341	<.0001	0.6705	0.6674	0.0000095	0.0031
		B2	1.7238					

P<t=Nivel de significancia, R²=coeficiente de determinación, R²_{aj}=coeficiente de determinación ajustado, CME=cuadrado medio del error, RCM= Raíz del cuadrado medio del error y B0 B1 B2= parámetros de modelo. Nota: El modelo sombreado, con color gris, fue el modelo seleccionado de mejor ajuste para la variable.

Del estudio que realizó Cruz (2013) el modelo que mejor ajustó fue Weibull para área basal de *Swietenia macrophylla* King con un $R^2_{aj} = 0.5339$; mientras que Velásquez, (2018), en su estudio el modelo que mejor ajustó para área basal fue el de Weibull con el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) = 0.6477 y el cuadrado medio del error (CME) con un valor de 0.0000068.

4.1.4. Crecimiento en volumen

En el crecimiento en volumen de *Swietenia macrophylla* King, de los tantos modelos evaluados para este parámetro, dos modelos ajustaron iguales (Cuadro 7) con valor de coeficiente de determinación ajustado de 0.5499 y un cuadrado medio del error de 0.0002. En este estudio se toma el modelo de Chapman-Richards por tener mejor precisión, de esa manera alcanza a tener mayor flexibilidad (Zeide, 1993).

Cuadro 7. Modelo de mejor ajuste en volumen para *Swietenia macrophylla* King en una plantación de acahual enriquecido en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

	Modelo	Parámetros	Estimación	P<t	R ²	R ² _{aj}	CME	RCME
Volumen	Chapman-Richards	B0	0.1016					
		B1	0.057	<.0001	0.5528	0.5499	0.0002	0.0131
		B2	3.0838					
	Korf	B0	0.0019					
		B1	0.1078	<.0001	0.5464	0.5432	0.0002	0.0122
		B2	1.3334					
	Logístico	B0	0.0401					
		B1	4.0688	<.0001	0.5521	0.5492	0.0001	0.0122
		B2	0.2613					
	Von Bertalanffy	B0	-0.00408	<.0001	0.5506	0.5492	0.0001	0.0122
		B1	-0.1099					
	Weibull	B0	0.0557					
		B1	0.000552	<.0001	0.5528	0.5499	0.0002	0.0131
		B2	2.4339					

$P < t$ = Nivel de significancia, R^2 = coeficiente de determinación, R^2_{aj} = coeficiente de determinación ajustado, CME = cuadrado medio del error, RCM = Raíz del cuadrado medio del error y B0 B1 B2 = parámetros de modelo. Nota: El modelo sombreado, con color gris, es el mejor ajustado para la variable.

El modelo coincide con el estudio que realizó Contreras-Ruiz (2021) en una evaluación financiera para *Swietenia macrophylla* King, donde el modelo de Chapman-Richards fue el mejor ajustado con un cuadrado medio del error (CME) = 0.0002.

4.2. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable altura

La curva de ajuste en altura de la gráfica (1A) para esta especie es de forma exponencial invertida, conforme avanza la edad del arbolado, la curva aún no ha tomado su punto de inflexión donde empieza a mermar su crecimiento, esto indica que la plantación todavía es joven, por lo tanto, seguirá creciendo hasta alcanzar la estabilización del crecimiento.

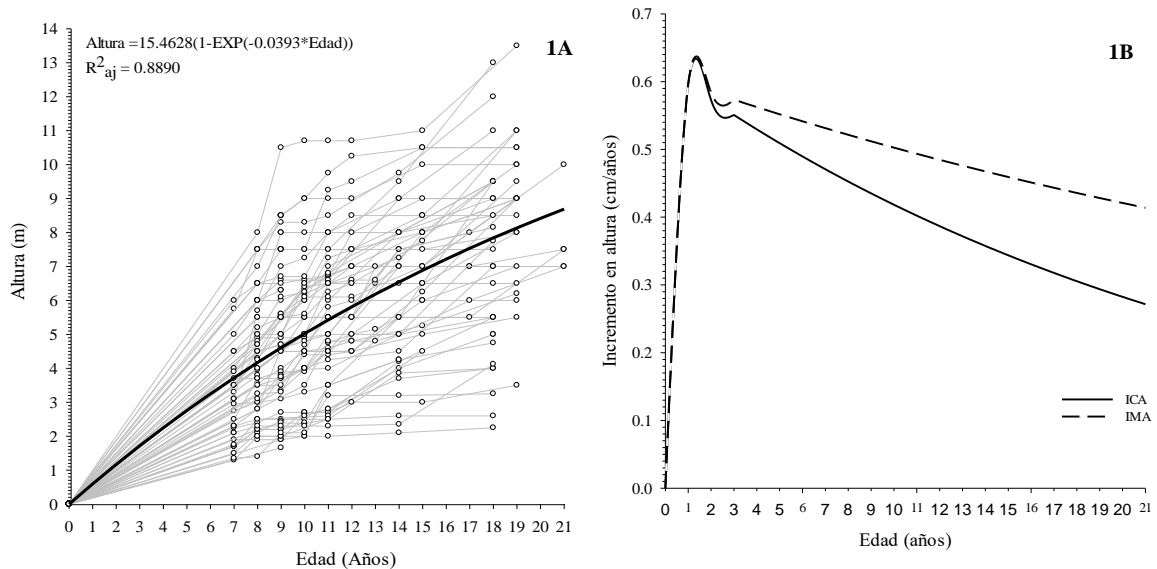


Figura 2. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (1A) e incremento para altura promedio, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy (1B) para las plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

De acuerdo al comportamiento de la gráfica de incremento (1B), nos indica que los primeros dos años se tuvo un máximo incremento corriente y medio anual con un valor de 0.6 m/año, pero después comienza a descender el crecimiento, más, sin embargo, su comportamiento está subestimando valores por no tener el registro de datos evaluados en los primeros 7 años; razón por la cual el comportamiento de la gráfica. Por lo tanto, para este parámetro no encontramos turno absoluto, ya que no tenemos el valor de IMA en su valor máximo.

4.3. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable diámetro

La curva de ajuste en diámetro promedio (Figura 2A) para esta especie es de forma exponencial invertida, lo que indica que hay subestimación de valores, porque en los primeros siete años no se tiene registro de datos dasométricos de la plantación. Por otra parte, aún el arbolado está en proceso de establecimiento, es por eso que la gráfica todavía no llega en su punto de inflexión porque la plantación aún es joven, eso significa que seguirá creciendo.

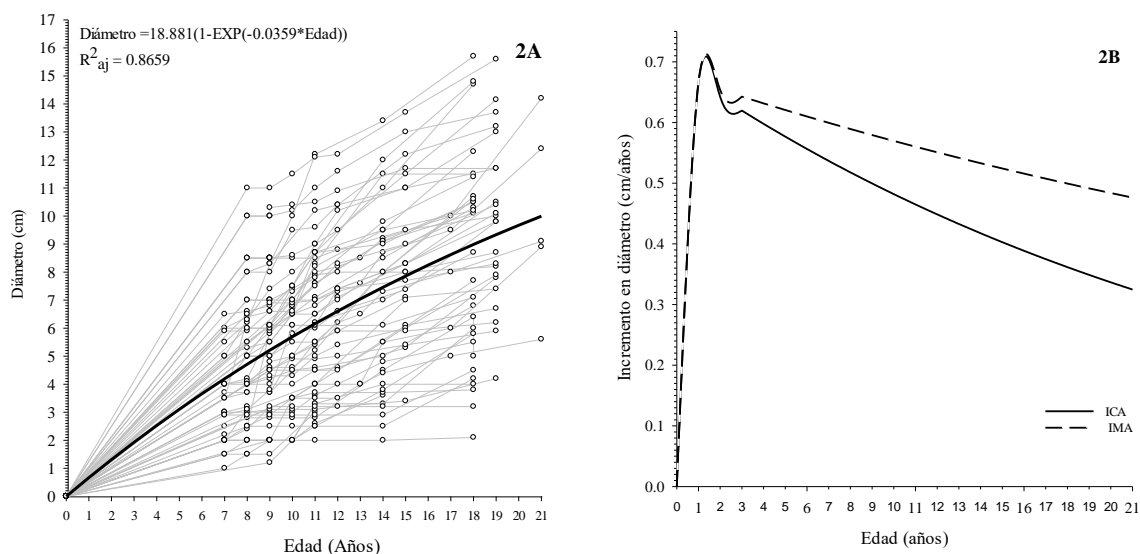


Figura 3. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (2A) e incremento para diámetro promedio, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy (2B) para las plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

El resultado que se observa en la gráfica (2B) en el incremento en la variable diámetro, nos indica que los máximos valores que tomaron ICA e IMA fueron los primeros dos años con un valor de 0.67 cm/año, después los valores se fueron descendiendo, el comportamiento de la gráfica es resultado de los valores de los primeros años están subestimados, ya que faltaron datos de evaluación en los primeros siete años de la plantación. Por lo tanto, el rango de predicción correcto está en el rango de los datos tomados en los años de evaluación. Esto implica que no llegue el IMA en su punto máximo para alcanzar el turno absoluto.

4.4. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable área basal

La curva de ajuste en área basal, de acuerdo al modelo que se seleccionó, el comportamiento es de forma ascendente o exponencial, gráfica (3A); lo que predice que el arbolado es joven y se encuentra en pleno desarrollo, siendo una especie de lento crecimiento, se tendrá que esperar más años para que pueda tomar estabilidad y poder tomar su punto de inflexión.

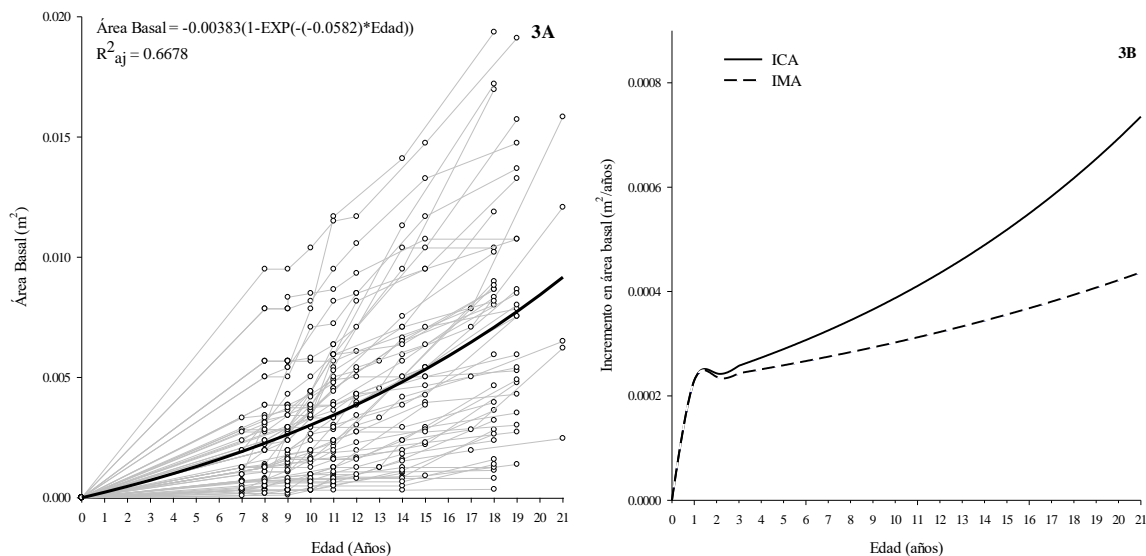


Figura 4. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (3A) e incremento para área basal promedio, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy (3B) para las plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

El comportamiento de la gráfica de incremento para la variable de área basal promedio (3B) indica el que el incremento corriente anual y el incremento media anual (ICA e IMA) todavía no alcanzan el valor máximo para tomar el punto de flexión, por lo tanto, no se tiene el turno absoluto para esta variable esto predice que la plantación está en la etapa de desarrollo y al ser una especie de lento crecimiento, se tendrá que esperar más años para encontrar el turno deseado.

4.5. Incremento y determinación del turno absoluto para la variable volumen

La curva de ajuste en la variable volumen, de acuerdo al modelo que se seleccionó para predecir al volumen promedio, su comportamiento es de forma ascendente o exponencial (4A) lo que predice que el arbolado es joven, e indica que todavía está en etapa de desarrollo para llegar a establecerse y tomar la forma sigmoideal.

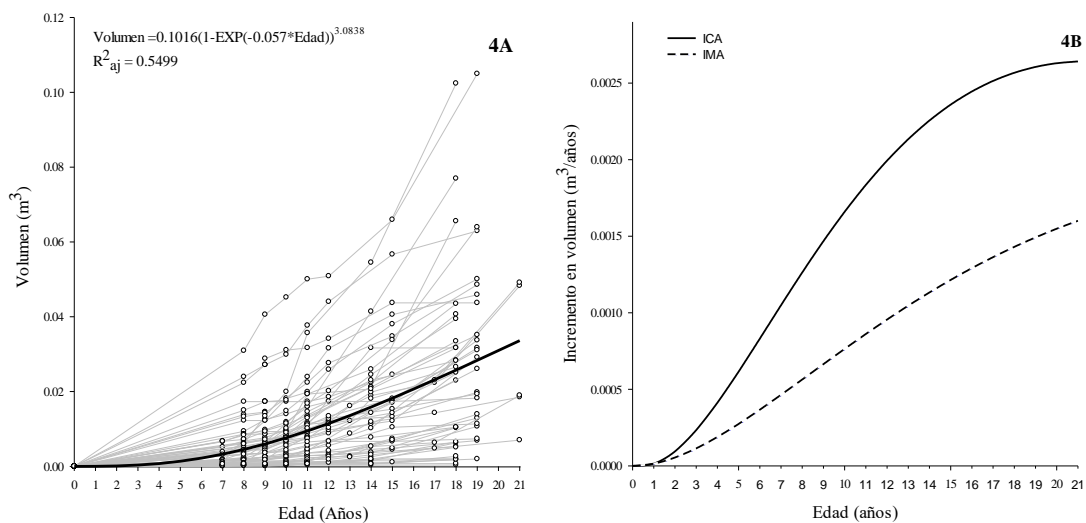


Figura 5. Curva de crecimiento en el diagrama de dispersión (4A) e incremento para volumen promedio, ajustada mediante el modelo Chapman-Richards (4B) para las plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el ejido “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

El comportamiento de la gráfica de incremento (4B), a los 21 años de edad ICA está a punto de alcanzar su valor máximo, pero el incremento medio anual todavía le falta, por lo tanto, para esta variable aún no tenemos el turno absoluto. Esto indica que el arbolado aún es joven, se tendrá que esperar otros años más, ya que la tendencia de la curva del incremento ya está alcanzando su punto máximo y comenzará a descender.

4.6. Comparación de crecimiento con otros estudios

4.6.1. Comportamiento de las curvas de crecimiento

Para el caso de las curvas de crecimiento, generalmente en los estudios de arbolados adultos, el comportamiento que toma la curva se le nombra de forma sigmoideal, donde los primeros años de la plantación toma una forma exponencial hasta alcanzar un punto de flexión indicando el máximo crecimiento del árbol.

De acuerdo al resultado encontrado por Quintero (2005) para la variable de diámetro en *Swietenia macrophylla* King, tuvo una curva exponencial invertida, mostrando un lento crecimiento de la plantación, mientras que Sandoval (2010) presenta ligeramente una curva sigmoideal a la edad de 7 años de la misma especie.

Por otro lado, Santiago (2012) encontró el comportamiento de la curva para diámetro promedio y altura promedio un crecimiento ascendente hasta la edad de 10 años similar a lo que se encontró en este estudio, señalando que se debe a la falta de mantenimiento adecuado en la plantación. Mientras que Cruz (2013) la curva de crecimiento para altura promedio toma ligeramente la forma sigmoideal manteniendo un crecimiento lento en la edad de 8 hasta los 16 años.

En la misma plantación, Vásquez (2018) observó el comportamiento de la curva de forma normal (sigmoideal) para *Swietenia macrophylla* King manteniendo un crecimiento

estable aunque bajo a comparación del cedro debido a que la plantación se encuentra en un sistema de enriquecimiento de acahual.

Las curvas de crecimiento exponencial que se presentaron en las variables de área basal y volumen para este estudio indican que la plantación está en procesos de crecimiento y desarrollo, indicando que aún es joven.

4.6.2. Comportamiento de incremento en otros estudios de crecimiento

Cordero y Boshier (2003) señalan que el incremento medio anual (IMA) para *Swietenia macrophylla* King en un bosque tropical primario es de aproximadamente 0.4 cm, mientras que en las plantaciones el rango está de 1.2-1.4 cm por año valores que son superiores a comparación con lo encontrado en este estudio. En Costa Rica, Honduras, Ecuador y Perú se han registrado incrementos cercanos a 2 cm por año a una edad de 15-20 años en plantaciones con fertilizantes. Mientras que en este estudio muestra incrementos inferiores en la misma edad por ser una plantación de enriquecimiento de acahual.

Por otra parte, de acuerdo a los resultados del Departamento de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2019) el incremento medio anual (IMA) las plantaciones forestales puras para las variables de crecimiento (DAP, altura total, área basal y volumen total) para *Swietenia macrophylla* King en Guatemala fue de 1.37 cm, 1.14 m, 1.06 m²/ha y 10.50 m³/ha por año respectivamente a una proyección de 20 años, estos valores son más altos a comparación con lo encontrado en este estudio para la misma edad.

Santiago (2012) realizó un estudio en el mismo lugar de la plantación comparando los incrementos medios anuales máximos en diámetro, presentando a la edad de entre 7 y 8 años para dos exposiciones (NE y NW) de *Swietenia macrophylla* King con valores de 0.48 cm/año y 0.42 cm/año respectivamente valores que están arriba del IMA que se encontró para diámetro a la edad de 21 años en esta investigación.

Un estudio efectuado por Morales-Sánchez (2019) en una plantación de 5 años de establecida en Veracruz, sobre el crecimiento de *Swietenia macrophylla* King, encontraron un incremento medio en diámetro en el quinto año con un valor de 0.56 cm/año, valor que presenta la plantación en este estudio a la edad de 14 años, esto indica que lleva un crecimiento lento.

Del estudio que hizo Hernández-Ramos (2020) en el sureste de México para *Swietenia macrophylla* King, encontraron un incremento de 0.78 cm/año en diámetro, alcanzando el turno absoluto a partir de un diámetro mínimo de corta de 55 cm y una edad de 78 años en bosques tropicales naturales; a pesar de ser un bosque adulto con el resultado encontrado en este estudio a 21 años es cercano, esto indica que el crecimiento en diámetro de la plantación se asemeja al bosque natural.

Por lo tanto, el crecimiento en plantaciones de enriqueciendo de acahual para caoba (*Swietenia macrophylla* King) se asemeja a un bosque tropical primario o natural, ya que al cubrirse debajo del dosel de las especies superiores tiende a disminuir su crecimiento por falta de luz, nutrientes y mantenimiento.

5. CONCLUSIÓN

Se rechaza la hipótesis nula planteada: Ningún modelo matemático utilizado es significativo para estimar el diámetro y altura en diferentes edades; ya que, de los cinco modelos utilizados, al menos dos modelos resultaron altamente significativos que nos ayudan a estimar y predecir el crecimiento de *Swietenia macrophylla* King.

De los modelos usados, el que mejor ajustó de acuerdo a los valores estadísticos, coeficiente de determinación ajustada (R^2_{aj}) y cuadrado medio del error (CME); fue Von Bertalanffy y Chapman-Richards, por lo tanto, es sugerido el uso para el estudio de estimación y predicción de crecimiento y la etapa de desarrollo de la plantación.

De acuerdo a los incrementos medio anual (IMA) resultantes para las variables de altura, diámetro, área basal y volumen, no llegan aún el punto máximo y la pendiente resultante de la curva de crecimiento; aún no se logra la inflexión, lo que implique que no alcanza el turno absoluto para estos años; esto nos ayuda a conocer que la plantación es joven y está en etapa de desarrollo entonces se tiene que esperar más tiempo para tomar una decisión de poderlos aprovechar.

Los incrementos encontrados se desarrollan de manera semejante a un bosque tropical natural, ya que es bajo en comparación de las plantaciones forestales establecidas en México y partes de Centroamérica.

6. RECOMENDACIÓN

Para seleccionar el modelo adecuado, antes se tiene que realizar una gráfica de dispersión con los datos de campo para poder identificar datos anormales que puedan subestimar predicción.

La predicción de los crecimientos es recomendada en los rangos de los valores tomados en campo, fuera de estos rangos de valores que no fueron tomados la estimación puede subestimar o sobrestimar la predicción de los valores calculados.

Efectuar mediciones periódicas de los parámetros dasométricos en los sitios permanentes donde los intervalos de tiempo sean más cortos (anuales), tener el control e identificación de los árboles y de los datos.

Para el mejor crecimiento y desarrollo de la especie en una plantación de enriquecimiento de acahual, es necesario hacer las prácticas silvícolas correspondientes y evitar competencias entre especies.

7. LITERATURA CITADA

- Bormann, F. H. y Berlyn, G. (1983). *Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales; nuevos enfoques para la investigación*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. México. D. F. 143 p.
- Bravo M. A. (2007). Estimación maderable y evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales de cedro y caoba en Oaxaca, México. Colegio de postgraduados. Tesis profesional de maestría. Texcoco, México. 86 p.
- Cabrera G. C. (2003). *Plantaciones forestales: oportunidades para el desarrollo sostenible*. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícola. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala. 20 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2021). Programa anual de trabajo 2021. 222 p. (20 de marzo de 2021.) https://www.conafor.gob.mx/transparencia/docs/2021/PAT_2021_CONAFOR.pdf
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, s.f.). *Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México*. Colegio de Postgraduados. México. 472 p.
- Contreras-Ruiz C. A. (2021). Evaluación financiera de una plantación forestal comercial proveniente de un acahual enriquecido. Tesis profesional de grado. Chapingo. Estado de México. 92 p.
- Cordero J. y Boshier D.H. (2003). *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. OFI-CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 903 p.
- Correas., R. (2005). *Instalación y evaluación de parcelas permanentes en plantaciones forestales*. Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Forestales. Bolivia. 26 p.

- Cuevas G. X., Parraguirre L. C. y Rodríguez S. B. (1992). Modelos de crecimiento para una plantación de Caoba (*Swietenia macrophylla* King). *Ciencias Forestales en México*. (17) 71: 87-102.
- FAO. (1982). Los Recursos Forestales Tropicales. Dirección de recursos forestales, Departamento de Montes. Roma, Italia. 120 p.
- FAO. 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma. 12 p. (18 de abril de 2022). <https://doi.org/10.4060/ca8753es>
- García C. X., Lezama C. P. y Santiago B. R. (1992). Modelo de crecimiento para una plantación de *Swietenia macrophylla* King. *Ciencias Forestales*. 17 (71):87-102.
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Enriqueta García de Miranda. Universidad Autónoma Nacional de México. México, D. F. 246 p.
- García-García D. A., Sáenz-Reyes J. T., Rueda Sánchez A., Muños-Flores H. J., Castillo-Quiroz D. y García-Mosqueda G. E. (2021). Tablas de volumen de *Swietenia macrophylla* King en plantaciones forestales del occidente de México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 17(1): 31-394.
- García P. V. (2005). Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 92 p.
- Hernández-Ramos J., Valdéz-Hernández J. I., García-Cuevas X., Tadeo-Noble A. E. y Reyes-Hernández V. J. (2020). Estimación de la edad de *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) a partir del diámetro normal en poblaciones del sureste mexicano. *Revista de Biología Tropical* (68) 1:200-217.
- Imaña E. J. y Encinas B. O. (2008). *Epidometría forestal*. Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil. 66 p.

- INEGI (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pedro Pochutla, Oaxaca. Clave geoestadística 20324. 10 p.
- INEGI. (2000). Carta topográfica. San José Chacalapa. D14B18. Escala 1:50,000. Oaxaca, México.
- Instituto Nacional de Bosques (INAB) 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Caoba de Petén *Swietenia macrophylla* King versión 1.0. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 85 p.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente. (LGEEPA). (2018) Artículo 7. Fracción XL. México. 132 p.
- Martínez-Ruiz R., Azpíros-Rivero H. S., Rodríguez-De la O. J. L., Cetina-Alcalá V. M. y Gutiérrez-Espinoza M. A. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. México. *Ra Ximhai*, 2 (3): 815-846.
- Mollinedo G. M.S., Herrera M. M. A. y Muñoz S. F. (2016). Caracterización del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y estimación de curvas de índice de sitio en el área septentrional de la República de Guatemala. *Madera y Bosques*. México. 2 (22): 89-103.
- Morales H. J. (1997). Programa de manejo de las plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla y Candelaria Loxicha, Oaxaca. Agrosilvícola San José S.P.R. de R.I. Pochutla, Oaxaca. 32 p.
- Morales H. J. (2022). Asesor Técnico Forestal del Agrosilvícola San José S.P.R. de R.I. Pochutla, Oaxaca. moraleshj53@gmail.com
- Morales-Sanchez J. H., Mendizábal-Hernández L. del C. y Alba-Landa J. (2019). Crecimiento de *Swietenia macrophylla* King en una plantación de cinco años de establecida en Emiliano Zapata, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*. 21(2):17-22. (4 de junio de 2022) <https://www.redalyc.org/journal/497/49762539002/html/>

- Morteo-Montiel, O. (2011). Abandono de tierras y el desarrollo de la vegetación secundaria en dos ejidos de la Sierra de Santa, Marta, Veracruz. Tesis, Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa Veracruz. 94 p.
- Músalem M. A. (2006). *Silvicultura de plantaciones forestales comerciales*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 217 p.
- Niembro Rocas, A., M. Vázquez T., y O. Sánchez T. (2010). *Árboles de Veracruz*. 100 especies para la Reforestación Estratégica. Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución, Centro de Investigaciones Tropicales. Veracruz, México. 255 p.
- Nieto V., Barrios A. y López A. M. (2011). Monitoreo del crecimiento en pos de identificar parámetros mínimos de productividad forestal. *Forestal*. 18 p. (4 de junio de 2022) <https://www.yumpu.com/es/document/read/30982159/monitoreo-del-crecimiento-revista-el-mueble-y-la-madera>
- Palmberg-Lerche C, y Ball J. B. (1998). El estado actual de las plantaciones forestales en América Latina y El Caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético. En “Establecimiento, Manejo y Protección de las Plantaciones”. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO/FAO: El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Desafío del Siglo XXI. Valdivia, Chile 22-28 noviembre 1998. 13 p.
- Pérez G. G. (2009). Caracterización y determinación del índice de sitio en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. 79 p.
- Quintero C. H. (2005). Crecimiento de dos especies tropicales maderables en plantaciones en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de licenciatura. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 62 p.

- Quinto L., Martínez-Hernández P. A., Pimentel B. L. y Rodríguez-Trejo A. D. (2005). *Swietenia macrophylla (Meliace)*. Árboles tropicales de México. UNAM, FCE. México. Pp.369-374.
- Rzedowski, J., (2006). *Vegetación de México*. Primera Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Limusa, S. A. México, 504 p.
- Sandoval G. R. (2010). Crecimiento en altura y diámetro de tres especies tropicales de plantaciones comerciales en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de licenciatura. Departamento forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 46 p.
- Santiago G. B. (2012). Análisis de crecimiento en diámetro y altura de especies tropicales en plantación de enriquecimiento en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de licenciatura. Departamento forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 68 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2021). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2018. México. 298 p.
- Sit V. y Poulin-Coello. (1994). *Catalogue of curves for curve fitting*. Biometrics information. Handbook series No. 4. Ministry of forest research program. Province of British, Columbia, Canadá. 110 p.
- Soto-Pinto, L., M. Anzueto-Martínez y S. Quechulpa. (2011). *El Acahual mejorado un prototipo agroforestal*. ECOSUR. Chiapas, México. 23 p.
- Velásquez C. M. M. (2018). Crecimiento en plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King en San Pedro Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de licenciatura. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 64 p.
- Zeide, B. (1993). Analysis of growth equations. *Forest Science*. 39(3):594-616.

8. ANEXO

Anexo 1. Vista de las actividades realizadas durante la reevaluación de los sitios permanentes establecidos en el predio “El Pénjamo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.



Sitio permanente en plantación de acahual enriquecido.

Medición de la variable cobertura de copa (m) para *Swietenia macrophylla* King.



Medición de la variable, diámetro normal (cm) para *Swietenia macrophylla* King.

Levantamiento de datos dasométricos para *Swietenia macrophylla* King.