

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento De Plantaciones De *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénéclauze) Barret Y
Golfari De Dos Procedencias Establecidas En San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca

Por:

ZAIRA YAMEL LLANES GARCIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento De Plantaciones De *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénéclauze) Barret Y
Golfari De Dos Procedencias Establecidas En San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca

Por:

ZAIRA YAMEL LLANES GARCIA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal


M.C. José Aniseto Díaz Balderas
Coasesor


Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor


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



Saltillo, Coahuila, México
Junio 2022

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en el 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 razonamiento 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 que de cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición, o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Zaira Yamel Llanes Garcia

El presente trabajo de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro como clave No. 38111-425103001-2175. Que lleva por nombre “Diversidad y estructura de bosques tropicales en el occidente y sureste de México”. Proyecto que está a cargo de Dr. Celestino Flores López Profesor-Investigador del Departamento Forestal.

DEDICATORIA

A mis padres, Hilario Llanes Castro y María de Jesús Garcia Blanco, gracias por su amor y apoyo infinito e incondicional que siempre me han dado. A ustedes que siempre han hecho lo imposible posible para darme lo mejor, a ustedes que son mi inspiración y lo que más amo en la vida.

A mis hermanos, Fanny, Pablo, Alondra, Perla y Kevin a quienes quiero con todo mi corazón y quienes me han acompañado en cada locura de mi vida.

En especial a ti Fanny

Gracias por el apoyo y cariño infinito e incondicional que me has brindado toda mi vida, gracias por acompañarme durante toda esta trayectoria. Te admiro y te quiero, no habrá manera de expresar lo agradecida que estoy contigo.

A mis sobrinos:

A mi princesa Danielita

A mi amor Lucas

A mi princesa Dania

Ustedes que me han enseñado el amor más puro y hermoso que pueda existir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fortaleza para no rendirme, gracias por cuidarme y siempre guiarme e iluminar mi camino en cada momento de mi vida.

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por la gran oportunidad que me dio para formar parte de la familia butre, gracias por cobijarme y forjarme a ser una profesionalista.

Al Dr. Celestino Flores López, por su amistad, su tiempo incondicional que siempre mostró, por el apoyo infinito que me brindó para concluir este trabajo, por la confianza que mostró de que se lograría culminar dicho trabajo.

Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas, por tiempo y apoyo brindado en el presente trabajo.

Al Ing. Juan Morales Hernández, por la oportunidad que brindó para realizar el presente, por su apoyo y tiempo en el trabajo en campo.

Al Dr. Francisco Cruz García, por su amistad y disposición en apoyarme.

A Eduardo Zetina Ortega, quien desde que llego a mi vida siempre me ha apoyado y creído en mí, por el amor, cariño, ánimos, confianza y paciencia que me has mostrado, por tus consejos, por estar siempre ahí para mí.

A mis amigos:

A Ricardo González Romero, por su amistad y cariño incondicional. Por acompañarme y apoyarme en cada locura que se me ocurría, por estar ahí siempre que necesité de alguien para escucharme, reír o llorar, gracias por formar parte de mi vida.

A doña Rosy Moreno, por ser un ser tan bueno, por cuidarme, procurarme y quererme como una hija, por los ánimos y consejos que nunca faltaron de su parte, por convertirse como una segunda mamá para mí.

A Isabel Domingo y Marlen Mendoza, mis primeras amigas de la universidad, personas tan nobles que me brindaron su amistad y acompañaron en toda esta trayectoria, ¡Las quiero!

A Itzel Valladares y Ángel López, por formar parte de mi vida, brindarme su amistad, acompañarme siempre en cada locura de mi vida, por apoyarme, aconsejarme y estar presentes durante todo este trayecto.

Víctor Manuel Lira Moreano y Noe Ramírez López, con quienes compartí los últimos días de esta etapa, por sus ánimos que día a día me brindaron, por cuidarme y apoyarme siempre que los necesité.

Al M.C. Carlos Aldair Contreras Cruz, Leobardo Ambrosio Valencia, Paulino Ambrosio Ambrosio, Abelardo Jiménez por el apoyo brindado en la recolección de datos en campo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos e hipótesis	4
1.1.1. Objetivos específicos.....	4
1.1.2. Hipótesis	5
2.REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	6
2.1.1. Morfología.....	6
2.1.2. Ecología.....	7
2.1.3. Usos.....	7
2.2. Plantaciones forestales de <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> en México	8
2.3. Importancia de crecimiento en plantaciones forestales.....	9
2.4. Tipos dendrométricos para calcular el volumen de trozas en análisis troncales	10
2.5. Modelos de crecimiento	11
2.6. Estudios de crecimiento en plantaciones de <i>Pinus caribaea</i>	13
3.MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Antecedentes de la plantación y procedencias	14
3.1.1. Área semillera en la Sabana, Tuxtepec.	14
3.1.2. Huerto semillero de Poptún, Petén, Guatemala	14
3.2. Descripción del área de estudio	14
3.3. Reevaluación de sitios permanentes	17
3.3.1. Variables dasométricas evaluadas.....	17
3.4. Análisis troncales.....	17

3.5. Modelos de crecimiento	18
3.6. Análisis estadísticos	19
3.7. Cálculo de variables para análisis troncales	19
3.8. Cálculo de variables para datos de sitios permanentes	21
3.9. Comparación de medias	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1. Comparación de modelos de crecimiento para las procedencias en estudio, área semillera y huerto semillero.	24
4.1.1. Diámetro normal	24
4.1.2. Altura.....	26
4.1.3. Área basal	28
4.1.4. Volumen	30
4.2. Comparación de curvas de crecimiento e incrementos de ambas procedencias	32
4.2.1. Crecimiento e incremento en diámetro normal.....	32
4.2.2. Crecimiento e incremento en altura	33
4.2.3. Crecimiento e incremento en área basal.....	33
4.2.4. Crecimiento e incremento en volumen.....	34
4.3. Comparación descriptiva del crecimiento para ambas procedencias.....	44
4.3.1. Crecimiento de diámetro normal en ambas procedencias	44
4.3.2. Crecimiento en altura total para ambas procedencias	45
4.3.3. Crecimiento en área basal para ambas procedencias	46
4.3.4. Crecimiento en volumen para ambas procedencias	47
4.4. Comparación de incrementos medios anuales.....	48
5. CONCLUSIÓN	51
6. RECOMENDACIONES.....	52
7. LITERATURA CITADA	53

8.ANEXOS	62
----------------	----

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Fórmulas volumétricas de los tipos dendrométricos	11
Cuadro 2. Modelos de crecimiento utilizados en crecimiento de <i>Pinus caribaea</i> y pinos tropicales	12
Cuadro 3. Estudios de crecimiento en plantaciones de <i>Pinus caribaea</i>	13
Cuadro 4. Características físicas y biológicas del área de estudio	16
Cuadro 5. Modelos para estimar el crecimiento de <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i>	18
Cuadro 6. Modelos de crecimiento utilizados para la variable diámetro normal de <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.	25
Cuadro 7. Modelos de crecimiento utilizados para la variable altura de <i>Pinus caribaea</i> de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.....	27
Cuadro 8. Modelos de crecimiento utilizados para la variable área basal de <i>Pinus caribaea</i> de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.	29
Cuadro 9. Modelos de crecimiento utilizados para la variable volumen de <i>Pinus caribaea</i> de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.	31
Cuadro 10. Rangos y valores estadísticos de la prueba U de Mann-Whitney para los incrementos medios anuales de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> de dos procedencias.	48
Cuadro 11. Valores estadísticos de la prueba t de student para el incremento medio anual de volumen en <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> de dos procedencias.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio donde se encuentran las parcelas dentro de la plantación en “El Carnizuelo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.....	15
Figura 2. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable diámetro normal para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia AS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). Nota: La línea punteada vertical representa el punto donde se encuentra el turno absoluto.	36
Figura 3. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable diámetro normal para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia HS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). 37	
Figura 4. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable altura total para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia AS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). Nota: La línea punteada vertical representa el punto donde se encuentra el turno absoluto.	38
Figura 5. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable altura total para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia HS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). ...	39
Figura 6. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable área basal para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia AS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). Nota: La línea punteada vertical representa el punto donde se encuentra el turno absoluto.	40
Figura 7. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable área basal para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia HS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). ...	41

Figura 8. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable volumen para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia AS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). ...	42
Figura 9. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable volumen para <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en la procedencia HS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). ...	43
Figura 10. Curvas de crecimiento en diámetro (cm) de la procedencia AS y procedencia HS. (DN. As= Diámetro normal área semillera, DN. Hs= Diámetro normal huerto semillero).....	44
Figura 11. Curvas de crecimiento en altura total (m) de la procedencia AS y procedencia HS. (H. As= Altura área semillera, H. Hs= Altura huerto semillero).	45
Figura 12. Curvas de crecimiento en área basal (m ²) de la procedencia AS y procedencia HS. (AB. As= Área basal área semillera, AB. Hs= Área basal huerto semillero).	46
Figura 13. Curvas de crecimiento en volumen (m ³) de la procedencia AS y procedencia HS. (Vol. As= Volumen área semillera, Vol. Hs= Volumen huerto semillero). ..	47

RESUMEN

Conocer el crecimiento y el rendimiento de los rodales forestales es fundamental para planificar su manejo a cualquier nivel. El presente estudio tiene como objetivo estimar el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen a través de modelos no lineales y sitios permanentes de muestreo, de una plantación de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de dos procedencias, huerto semillero de Poptún, Petén, Guatemala y área semillera en la Sabana, Tuxtepec, establecidas en san José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Se evaluaron once sitios permanentes de forma circular de 250 m² y se derribaron diez árboles para realizar análisis troncal. Las variables evaluadas de cada árbol, fue altura total (m) y diámetro(cm) a 1.30 m, para obtener el área basal y volumen para cada árbol (CM 0.5). Para análisis troncales los volúmenes anuales se calcularon a través de tipos dendrométricos. El crecimiento se estimó utilizando cuatro modelos no lineales, Chapman-Richard, Schumacher, Weibull y Hossfeld I; los criterios estadísticos para seleccionar el mejor modelo fue el valor más alto en R^2_{adj} y valor más bajo del cuadrado medio del error (CME). Para diferenciar el crecimiento medio anual (IMA) se usó la prueba de U de Mann-Whitney para diámetro normal, altura y área basal, y para el IMA en volumen se utilizó la prueba de t-student.

El ajuste de los modelos fue altamente significativo. Para diámetro normal (Dn) en la procedencia del área semillera (AS) se ajustó el modelo Weibull, mientras que para el huerto semillero (HS) se ajustó Chapman-Richard. En altura (H) para la procedencia AS se ajustó el modelo Hossfeld I y para procedencia HS el modelo Weibull. En área basal (AB) y volumen (Vol) para ambas procedencias se ajustó Hossfeld I. Las curvas de crecimiento en diámetro normal, altura y área basal para la procedencia AS se comportan de forma sigmoideal encontrando un punto de inflexión, y las curvas de crecimiento para la procedencia HS en DN es lineal y en H y AB es en forma exponencial (J); mientras que en Vol encontramos que el comportamiento de las curvas de crecimiento es exponencial en forma de J para ambas procedencias. Mediante la prueba U de Mann-Whitney y t de student se encontró que en las variables diámetro normal, altura, área basal y volumen no hay diferencias estadísticas en los crecimientos medios anuales entre procedencias.

Palabras claves: Sitios permanentes, modelos de crecimiento no lineales, análisis troncal, incremento, comparación de medias.

ABSTRACT

Knowing the growth and yield of forest stands is fundamental to plan their management at any level. The present study help to estimate the growth in height, diameter, basal area and volume through nonlinear models and permanent sampling sites, of a plantation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, from two provenance, seed orchard in Poptún, Petén, Guatemala, and seed area in La Sabana, Tuxtepec, established in San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Eleven permanent circular sites of 250 m² were evaluated and ten trees were felled for trunk analysis. The variables evaluated for each tree were total tree height (m) and diameter (cm) at 1.30 m, to obtain the basal area and volume for each tree (CM 0.5). For trunk analysis, annual volumes were calculated using dendrometric types. Growth was estimated using four non-linear models, Chapman-Richard, Schumacher, Weibull, and Hossfeld I; the statistical criteria to select the best model were the highest value in R^2_{adj} and the lowest value of the mean square of the error (MSE). The Mann-Whitney U test was used to differentiate mean annual increase (MAI) for normal diameter, height and basal area, and for MAI in volume the t-student test was used.

The fit of the models was highly significant. For normal diameter (ND) in the provenance of seed area (SA) the Weibull model was fitted, while for the seed orchard (HS) the Chapman-Richard model was fitted. In height (H), the Hossfeld I model was adjusted for AS and the Weibull model for HS. For basal area (BA) and volume (Vol) for both provenances, the Hossfeld I model was adjusted. The growth curves in normal diameter, height, and basal area for the AS provenance behave sigmoidal, finding an inflection point, and the growth curves for HS in DN is linear and in H and AB is in exponential form (J); while in Vol. we found that the behavior of the growth curves is the same in the form of J for both provenances. Using the Mann-Whitney U test and Student's t-test, it was found that in the variables normal diameter, height, basal area, and volume there are not statistical differences in the mean annual increases between provenances.

Key words: Permanent sites, nonlinear growth models, trunk analysis, increases, means comparison.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la alta demanda de los productos forestales, ha puesto en riesgo la superficie forestal, debido a la tala inmoderada de los bosques y el cambio de uso de suelos forestales, una alternativa para revertir la situación presente, es el establecimiento de plantaciones forestales, así mismo incrementando tanto la superficie y la producción forestal, y de esta manera además se modera el deterioro de los suelos y se satisfacen los requerimientos que de los bosques se demandan (Arteaga, 2003 y Musálem, 2006).

Es importante mencionar, que las plantaciones forestales, además de generar rendimientos económicos, brindan beneficios sociales y ambientales, generando empleos para la sociedad e incrementando la infiltración de agua a los mantos acuíferos, conservación de la biodiversidad, captura de carbono, producción de oxígeno, disminución de la erosión de suelo y la mitigación de los impactos del cambio climático (Muñoz-Flores *et al.*, 2015 y Vásquez-García *et al.*, 2016).

Sin embargo, en México, históricamente el objetivo del establecimiento de plantaciones se ha enfocado en gran parte a la protección de áreas degradadas (Mejía-Bojórquez *et al.*, 2015). El primer intento para desarrollar plantaciones forestales fue el establecimiento de plantaciones de álamos (*Populus spp.*) por la cerillera La Imperial, en las cercanías de Chalco, Estado de México. La compañía Fibracel en 1953 inició un programa para abastecer a la industria de tableros de fibra, por lo que estableció alrededor de 5 mil hectáreas de plantaciones de Eucalipto y Melina en Tamuín, San Luis Potosí, que cosechó a finales de los 60's. También otras plantaciones se desarrollaron para la producción de celulosa en la fabricación de papel en Ojinaga, Chihuahua por la empresa Plantaciones Industriales Mexicanas, en la Sabana, Oaxaca, las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y

Pinus oocarpa se establecieron con el propósito de producir materia prima para la elaboración de celulosa para papel periódico (Musálem, 2006). Por otra parte, en el estado de Chihuahua, la empresa paraestatal PROFORTARAH, en los años 1975 a 1978, se realizaron las primeras plantaciones de pino, (*Pinus arizonica*, *Pinus durangensis* y *Pinus engelmanni*), el cual tuvieron como propósito original la producción de madera en rollo (CONAFOR, Sfa).

Sin embargo, en el año 1997 se creó el Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN), con la finalidad de apoyar el establecimiento de plantaciones forestales comerciales para satisfacer la creciente demanda interna de productos forestales maderables y no maderables, disminuyendo con ello las importaciones de estos insumos y para crear alternativas de desarrollo sustentable y de diversificación productiva (CONAFOR, Sfb).

En México, la actividad forestal se centra en el género *Pinus* representando el 60 % de las especies maderables comerciales por su amplia distribución geográfica y su alto valor económico (Gómez *et al.*, 2012).

Las especies utilizadas para plantaciones suelen ser especies de rápido crecimiento (Caballero-Cruz y Treviño-Garza, 2018). En zonas tropicales y subtropicales predominan las acacias (*A. nilotica*, *A. mangium*, *A. mearnsii*, *A. senegal*, *A. seyal*), los eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. grandis*; *E. saligna*; *E. urophylla*), la teca (*Tectona grandis*) y *Gmelina arborea* y algunas especies de pinos (*P. caribaea*, *P. elliottii*, *P. patula*) (Prado, 2015). Así mismo las especies más usadas en plantaciones maderables han sido: eucalipto (*E. urophylla*, *E. grandis*, *E. camaldulensis*, entre otros), cedro rojo (*Cedrela odorata*), pino (*P. patula*, *P. greggii*, *P. pseudostrobus*, entre otros), teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) (Barrera *et al.*, 2021).

En el estado de Oaxaca se han establecido diversas plantaciones en la zona templada y tropical, en su mayoría con especies nativas, sin embargo, se desconoce la situación actual de su desarrollo, lo cual imposibilita una buena gestión de dichos recursos (Caballero-Cruz

y Treviño-Garza, 2018). En 2018 se realizó un análisis de la pertinencia de las plantaciones forestales en Oaxaca con base en imágenes de satélite donde se concluyó que las especies presentan un desarrollo favorable (Caballero-Cruz y Treviño-Garza, 2018), por el contrario, no ha habido estudios que se enfoquen en la adaptación de las especies plantadas.

Por lo tanto, es importante que en el establecimiento de plantaciones forestales comerciales se genere la información sobre el manejo y desarrollo de estas. Para lograr esto, se deben hacer diferentes tipos de evaluaciones con la finalidad de conocer el comportamiento en cuanto a la adaptación, crecimiento y desarrollo de las diferentes especies forestales que sean seleccionadas para tal fin, y así poder generar la información necesaria para mejorar el establecimiento y manejo eficientes de PFC. Las evaluaciones permiten solucionar problemas y aprovechar oportunidades para lograr mejores resultados (Madrigal-Chavero, 2021).

Existe una gran cantidad de metodologías para la determinación o estimación del incremento en las masas arboladas, los cuales suelen dividirse en métodos directos y métodos indirectos; a su vez, los más utilizados son los primeros, ya que son más confiables que los indirectos, 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 (Klepac, 1983).

Por otro lado, está el establecimiento de parcelas permanentes, el cual permite obtener resultados de forma más certera sobre el crecimiento, producción y evolución de las masas forestales (Corral-Rivas *et al.*, 2013). Con lo anterior, se logra generar la información necesaria para el desarrollo y validación de modelos de crecimiento (diámetro, altura, volumen, incorporación, mortalidad, índice de sitio, etc.) muy útiles en la elaboración y ejecución de los programas de manejo forestal (Corral-Rivas *et al.*, 2013).

Por ende, para poder describir los crecimientos en el tiempo, se requiere utilizar modelos de crecimiento que son herramientas para apoyar la toma de decisiones en el manejo forestal,

ya que permiten obtener información sobre el desarrollo futuro de los bosques (Santiago *et al.*, 2020).

Los modelos de crecimiento permiten construir una curva de crecimiento, lo que representa la suma de todos los incrementos anuales acumulados sobre el período de observación. Una curva de crecimiento típica toma generalmente una forma sigmoide (Rojo-Martínez *et al.*, 2005). Los modelos mayormente usados para curvas de crecimiento han sido los modelos de Schumacher y Chapman-Richards, ampliamente recomendados por muchos autores por la calidad del ajuste al que se acerca cada modelo (Arreortua, 2002).

En el estado de Oaxaca se han establecido plantaciones con fines comerciales, conservación y servicios ambientales y de restauración (Sosa, 2008).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el crecimiento de una plantación comercial de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, de dos procedencias, huerto semillero de Poptún, Petén, Guatemala y área semillera en la Sabana, Tuxtepec, establecidas en san José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

1.1. Objetivos e hipótesis

Estimar el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen a través de modelos no lineales y sitios permanentes de muestreo, de una plantación de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, de dos procedencias, huerto semillero de Poptún, Petén, Guatemala y área semillera en la Sabana, Tuxtepec, establecidas en san José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

1.1.1. Objetivos específicos

- 1 Comparar modelos de crecimiento que se ajusten a las variables de diámetro normal, altura, área basal y volumen para las procedencias en estudio, área semillera y huerto semillero.

- 2 Comparar el crecimiento de las dos procedencias, área semillera y huerto semillero, establecidas en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.
- 3 Comparar el crecimiento de las procedencias área semillera y huerto semillero, con estudios de su naturaleza.
- 4 Hacer una comparación descriptiva de crecimiento e incremento medio anual en ambas procedencias.

1.1.2. Hipótesis

Ho: Ninguno de los modelos de crecimiento y parámetros es significativo y no se ajusta adecuadamente a los datos de crecimiento de las dos procedencias.

H1: Al menos uno de los modelos de crecimiento y parámetros es significativo y se ajusta adecuadamente a los datos de crecimiento de las dos procedencias.

Ho: Los incrementos medios anuales en diámetro, altura, área basal y volumen son iguales entre las dos procedencias.

H1: Los incrementos medios anuales en diámetro, altura, área basal y volumen son diferentes entre las dos procedencias.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Es un pino tropical de alta distribución geográfica y es considerada como una de las especies forestales de gran potencial económico para la producción forestal en centro américa (Rojas y Ortiz, 1991). Además de ser una valiosa especie de rápido crecimiento y gran plasticidad ecológica (García-Quintana *et al.*, 2007).

Cabe mencionar que dicha especie está catalogada en peligro de extinción por la NOM-059, (NOM-059 SEMARNAT, 2010).

2.1.1. Morfología

Pertenece a la familia Pinaceae y género *Pinus*. Es un árbol que puede alcanzar 20 a 30 m de altura y de 50 a 70 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho) (Benítez, 2003). Presenta corteza grisácea cuando es joven; rugosa, resquebrajada en surcos longitudinales y de color oscuro en árboles adultos. Las hojas son aciculadas de 1.0 a 1.5 mm de espesor y 13 a 33 cm de largo, con dos a cinco canales resiníferos internos. Estas vienen agrupadas en fascículos de tres agujas y en ocasiones excepcionales dos a cuatro (García, 2008). Las vainas de los fascículos son de 10 a 16 mm de largo, de color castaño claro a parduzco y nunca oscuras o negras (Instituto Nacional de Bosques, 2017). Las flores masculinas son amentos cilíndricos de 25 a 45 mm de largo. Los conos no son persistentes y son de forma oblonga, asimétricos de 6 a 14 cm de largo, de 2.8 a 4.5 cm de ancho, cuando están cerrados y de 6 a 7.5 cm cuando están abiertos. En su área de distribución natural los conos alcanzan su madurez entre junio y julio en sitios costaneros y de julio a agosto en las tierras altas del interior. Las semillas son angostamente ovoides de 6.5 mm de largo y 3.5 de ancho con 2 mm de grosor, su color

varía de pardo claro a castaño o negruzco (Rojas y Ortiz, 1991 y García, 2008).

2.1.2. Ecología

Se encuentra en la vertiente atlántica desde el nivel del mar en las llanuras costeras hasta 850 msnm en las tierras del interior, aunque fuera de su rango ha sido plantado a altitudes de hasta 1500 msnm. Se adapta a una gran variedad de ambientes, incluyendo suelos poco fértiles y degradados, arenosos a areno-arcillosos, ácidos (pH 4 - 6.5) (Cordero *et al.*, 2003).

Cabe mencionar que la especie y variedad se puede adaptar a diferentes tipos de suelo, se desarrolla en suelos pobres, pero necesariamente suelos profundos y con un buen drenaje, muestra buen crecimiento en climas húmedos de las regiones tropicales; al contrario, en sitios sin una época seca marcada los árboles tienden a formar “cola de zorro” (Rojas y Ortiz, 1991).

Además, el pino necesita de la ocurrencia de fuego para que se establezca naturalmente. En sitios donde no se permite la ocurrencia de fuego, los pinares son sustituidos por latifoliadas (Rojas y Ortiz, 1991).

2.1.3. Usos

Utilizada en construcción en general, fabricación de muebles y artesanías, láminas para contrachapados, pulpa para papel, parquet para pisos, postes para tendido eléctrico, producción de leña y carbón. La resina se emplea en la elaboración de desinfectantes y pinturas (Rojas y Ortiz, 1991, Francis, 1992 y Cortés-Pérez *et al.*, 2005).

El pino caribeño se usa como una especie ornamental y como un árbol de sombra, en parte debido a su rápido crecimiento y a su adaptabilidad en la mayoría de los tipos de suelo, incluyendo el relleno parcialmente compactado. Algunos consideran la constante caída de las agujas foliares como una molestia. La especie también se planta extensamente para estabilizar y restaurar sitios erosionados y agotados de nutrientes. Es particularmente eficaz para la protección de cuencas y vertientes perturbadas (Francis, 1992).

2.2. Plantaciones forestales de *Pinus caribaea* var *hondurensis* en México

En los últimos años, en el sureste de México se han establecido plantaciones forestales de *Pinus caribaea*, que tienen como propósito la extracción de resina y la producción de madera (Torres *et al.*, 2020). Las principales especies resineras en nuestro país son: *Pinus oocarpa*, *Pinus devoniana*, *Pinus pringlei*, *Pinus montezumae*, *Pinus leiophylla*, *Pinus teocote*, *Pinus douglasiana*, *Pinus lawsonii*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus herrerae*; mientras que las dos especies introducidas que muestran un amplio potencial para ser utilizadas en plantaciones forestales comerciales son: *Pinus caribaea* y *Pinus elliottii* (CONAFOR, 2012).

CONAFOR (2016) menciona que la mayor superficie de las plantaciones de *Pinus caribaea* se han concentrado en la región de las Choapas y Huimanguillo, en los estados de Veracruz y Tabasco respectivamente, seguido de una región en el estado de Oaxaca. En Huimanguillo y Las Choapas las plantaciones son establecidas en pastizales, zonas de lomeríos y zonas bajas evitando zonas de inundación. Preferentemente se utilizan sitios con pH de suelo de 5.0 a 6.0, profundos con ausencia de impedimentos físicos y buen drenaje; se prefiere una textura franca-arenosa a arenosa y se procura evitar los terrenos bajos, propensos a inundaciones o con textura más arcillosa que indiquen un drenaje deficiente, o que se localicen cercanos a fuentes de agua.

En el municipio de San Juan Cotzocon, Oaxaca, en el 2007 se declaró Área Natural Protegida, con el carácter de Reserva Ecológica Estatal, el predio denominado “La Sabana” con una superficie total de 2,050 ha de las cuales 1,033 son plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y 894 hectáreas de vegetación nativa riverseña que se han mantenido como áreas de conservación desde más de 30 años (UMAFOR, 2014).

Cabe mencionar que en la etapa que administró las plantaciones SILMA, como filial de Fapatux, tenía que entregar madera a la planta industrial para poder recibir un pago correspondiente por m³ y de esta manera sufragar sus gastos de operación, tanto para el establecimiento de nuevas plantaciones como para reforestar las áreas que cortara, este es el caso de los aprovechamientos realizados en Santiago Tutla municipio de San Juan Mazatlán,

en donde se cortó a matarrasa el bosque natural de *Pinus oocarpa*, para establecer plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (UMAFOR, 2014).

En 1991 en Santiago Tuxtla, Veracruz, se estableció una plantación de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, el cual intervinieron cinco procedencias de Honduras: Los Limones con cuatro familias, Guanaja con nueve familias, Araslaya con tres familias, Puerto Lempira con tres familias, Dursuna con seis familias (Cruz-Jiménez *et al.*, 2011).

Dentro de la plantación comercial de La Sabana, Oaxaca, en 1989 se estableció un área semillera de *Pinus caribaea*, como objetivo de constituir una fuente importante de germoplasma para las plantaciones que llevaba a cabo FAPATUX, S.A en el sureste del país (Galeote Reyes *et al.*, 1993).

2.3. Importancia de crecimiento en plantaciones forestales

Conocer el crecimiento y el rendimiento de las masas forestales es fundamental para planificar su manejo a cualquier nivel (Vásquez-García *et al.*, 2016), es decir, su importancia recae en el silvicultor para determinar su respuesta y su proyección a un determinado tiempo para su mejor manejo (Prodan *et al.*, 1997).

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal está representado por su respectivo desarrollo, como consecuencia, del aumento de sus dimensiones: altura, diámetro, área basal y volumen. Este crecimiento, considerado en un período de tiempo determinado se denomina incremento (Klepac, 1983). Considerando que uno de los aspectos más importantes del establecimiento de plantaciones forestales comerciales es generar información sobre su manejo y desarrollo. Esto se puede lograr a través de diferentes tipos de evaluaciones que generalmente buscan conocer el comportamiento en términos de adaptación, crecimiento y desarrollo de las diferentes especies forestales que se seleccionan para tal fin. Así, la importancia del crecimiento de las especies plantadas está directamente relacionada con la productividad que se pretende obtener bajo el objetivo específico con el que se establecen. (Madrigal-Chavero, 2021).

2.4. Tipos dendrométricos para calcular el volumen de trozas en análisis troncales

Una metodología común para evaluar el volumen de un árbol es ajustando una ecuación que caracterice el perfil de este, siendo así a los cuerpos geométricos que se asemejan a los troncos o fustes de los árboles se les denomina tipos dendrométricos (Cansino, 2006 y Romahn de la Vega y Ramírez, 2010).

Los tipos dendrométricos más comunes de acuerdo con Alder (1980), Cailliez (1980) y Juárez (2014), son:

- Cono

La forma cónica es típica en árboles que pertenecen a masas claras, tanto de coníferas como de latifoliadas.

- Cilindro

La forma cilíndrica se asemeja a aquellos árboles de fuste corto, por lo general, fustes de latifoliadas en masas densas.

- Paraboloides

Al paraboloides se aproximan los pies de masas regulares de resinosas (coníferas que crecen en masa regular).

- Neiloide

El neiloide es propio de árboles aislados, árboles tropicales.

De acuerdo con Cailliez (1980) y Cansino (2006), las fórmulas volumétricas en función con cada tipo dendrométricos, proponen las siguientes:

Las fórmulas de volumen se utilizan normalmente para la cubicación de secciones de árboles. Para ello se realizan mediciones de diámetro y lo largo del fuste (Cuadro 1). La cubicación se realiza sección tras sección, quedando cada sección definida entre dos mediciones sucesivas en el caso de utilizar la fórmula de Smalian. Por otro lado, en la cubicación mediante la fórmula de Huber se utiliza cada medición, tomando como longitud de troza la distancia entre los puntos medios entre mediciones. El volumen total o de una fracción del fuste del árbol se obtiene sumando los volúmenes obtenidos de las secciones (Cansino, 2006).

Cuadro 1. Fórmulas volumétricas de los tipos dendrométricos

Forma de la troza	Nombre de la fórmula	Fórmula
Cilindro	Huber	$V = \frac{\pi}{4} D^2 m L$
Paraboloide	Smalian	$V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right] L$
Cono	Cono truncado	$V = \frac{\pi}{12} (D_1^2 + D_2^2 + D_1 D_2) L$
Neiloide		$V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{D_1 + D_2}{2} \right]^2 L$

Donde: V = Volumen, π = Constante igual a 3.1416, D_1 = Diámetro de la sección a la base, D_2 = Diámetro superior, L = longitud de la troza.

2.5. Modelos de crecimiento

Un buen manejo forestal requiere de estimaciones objetivas del crecimiento e incremento de los árboles del bosque (Corral y Navar, 2005). Los modelos de crecimiento y de rendimiento constituyen una herramienta de gran valor para la planificación de las actividades de manejo forestal (Rojo-Martínez *et al.*, 2005).

Además de que proporcionan resultados a nivel más detallados, cuando los datos obtenidos son de parcelas permanentes de muestreo, por ende, permite la representación en las diferentes etapas de desarrollo de las masas forestales. Estos modelos pueden incluir la definición matemática de la regeneración, competencia, reclutamiento y mortalidad que puede ser al nivel espacial de la masa forestal. Otra aproximación es modelar el crecimiento e incremento con datos obtenidos de análisis troncales (Corral y Navar, 2005). De acuerdo con Valdez-Lazalde y Lynch, (2000) y Torres y Magaña (2001) mencionan que los modelos de predicción del crecimiento y rendimiento facilitan la toma de decisiones porque permiten planear la cosecha, evaluar regímenes o tratamientos de manejo alternativos y pueden usarse como una herramienta básica para la evaluación financiera. Sin estas herramientas es difícil desarrollar planes de manejo forestal eficientes. Para la presente investigación se muestran algunos estudios realizados en evaluación de crecimiento de la especie en estudio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Modelos de crecimiento utilizados en crecimiento de *Pinus caribaea* y pinos tropicales

Tema	Autor y año	Especie	Ecuación
Modelación del crecimiento del <i>Pinus caribaea</i> var <i>caribaea</i> Barret y Golfari en la EFI Macurijes.	Barrero Medel <i>et al.</i> , 2010.		Schumacher, 1939 $y = \beta_0 e^{E(\beta_1/B_2)}$
Curvas anamórficas de índice de sitio para plantaciones de <i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>caribaea</i> Barret y Golfari de la empresa forestal integral macurije (EFI) en la provincia de Pinar del Río, Cuba.	Barrero-Medel <i>et al.</i> , 2011	<i>Pinus caribaea</i> var <i>caribaea</i> Barret y Golfari.	Chapman, 1959; Richards, 1961 $y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_2 E})^{\beta_1}$
Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.	Cortés - Martínez, 2010.	<i>Pinus pseudostrobus</i> Linl. <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez.	Weibull $y = \beta_0 (1 - \exp^{-b_1 E^{b_2}})$
Estimación del crecimiento de dos especies de <i>Pinus</i> de la Región Centro de Guerrero, México.	Hernández <i>et al.</i> , 2021.	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. y <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltl Schiede ex Schltl.	Chapman-Richards $y = \beta_0 (1 - \exp^{-b_1 E})^{b_2} + \varepsilon$ Hossfeld I $y = \frac{E^2}{(\beta_0 + \beta_1 E)^2} + \varepsilon$ Weibull $y = \beta_0 (1 - \exp^{-\beta_1 E^{\beta_2}}) + \varepsilon$ Schumacher $y = \beta_0 \exp^{-\beta_1 (\frac{1}{E})} + \varepsilon$

Donde: y = Variable a estimar, β_0 , β_1 , β_2 = Parámetros estadísticos, E= Edad.

2.6. Estudios de crecimiento en plantaciones de *Pinus caribaea*

Cuadro 3. Estudios de crecimiento en plantaciones de *Pinus caribaea*

Tema	Objetivo	Autor
Predicción del crecimiento de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> Barr y Golf. en La Sabana, Oaxaca, México.	Reajustar un modelo de crecimiento y rendimiento existente para las plantaciones de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en "La Sabana", Oaxaca, utilizando nuevos datos de las mismas parcelas para el modelo anterior y otras diferentes.	Montero y Fierros, 2000.
Evaluación del crecimiento en Pino Caribe (<i>Pinus caribaea</i>), en plantaciones jóvenes en El Llano, Zamorano, Honduras.	Determinar el estado de la plantación de El Llano, Zamorano, Honduras, por medio de recolección de datos usando parcelas de muestreo permanente que ayude en la toma de decisiones en el manejo de la plantación.	Morales, 2001
Modelación del crecimiento del <i>Pinus caribaea</i> var <i>caribaea</i> Barret y Golfari en la EFI macurijes.	Establecer curvas de índices de sitio para <i>Pinus caribaea</i> Morelet var <i>caribaea</i> Barret y Golfari.	Barrero-Medel <i>et al.</i> , 2010
Curvas anamórficas de índice de sitio para plantaciones de <i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>caribaea</i> Barret y Golfari de la empresa forestal integral macurije (EFI) en la provincia de Pinar del Río, Cuba.	Analizar el comportamiento de la relación altura–edad–índice de sitio y establecer curvas de índice de sitio.	Barrero Medel <i>et al.</i> , 2011a

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Antecedentes de la plantación y procedencias

La plantación se estableció con fines comerciales dentro de la propiedad privada denominada “El Carnizuelo”, las plántulas de la procedencia del área semillera de la Sabana, Tuxtepec (Procedencia AS) se establecieron en el año, 2006 en 0.54 ha y en el 2007 en 2.92 ha; y el establecimiento de la plantación procedente del huerto semillero (Procedencia HS) se llevó a cabo en los años, 2012 en 0.23 ha y en 2013 plantándose 0.38 ha.

3.1.1. Área semillera en la Sabana, Tuxtepec.

El establecimiento del área semillera fue en la plantación forestal comercial de La Sabana, Oaxaca, en un rodal de 84 ha, con arbolado de 15 años.

La finalidad de establecer el área semillera fue constituir una fuente importante de germoplasma para las plantaciones que lleva a cabo FAPATUX, S.A. en el Sureste del país. La plantación se localiza dentro de una región de selva mediana y alta perennifolia, donde existen algunos manchones de selva virgen y bosques de coníferas (*Pinus oocarpa*); pero en su mayoría, el área está perturbada con poca agricultura nómada y pastizales extensivos para la ganadería, lo que da origen a un tipo de vegetación denominada “acahuales” (Galeote *et al.*, 1993).

3.1.2. Huerto semillero de Poptún, Petén, Guatemala

El huerto semillero se encuentra en Poptún, Petén, Guatemala (Morales, 2022).

3.2. Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en una plantación comercial establecida en el predio privado “El Carnizuelo” (Figura 1), ubicado en la comunidad San José Chacalapa, perteneciente al estado de Oaxaca, con coordenadas 96° 27' 54.1" longitud oeste y 15° 49' 46.0" de latitud norte, a una altitud 220 msnm (INEGI, 2020) (Cuadro 4).

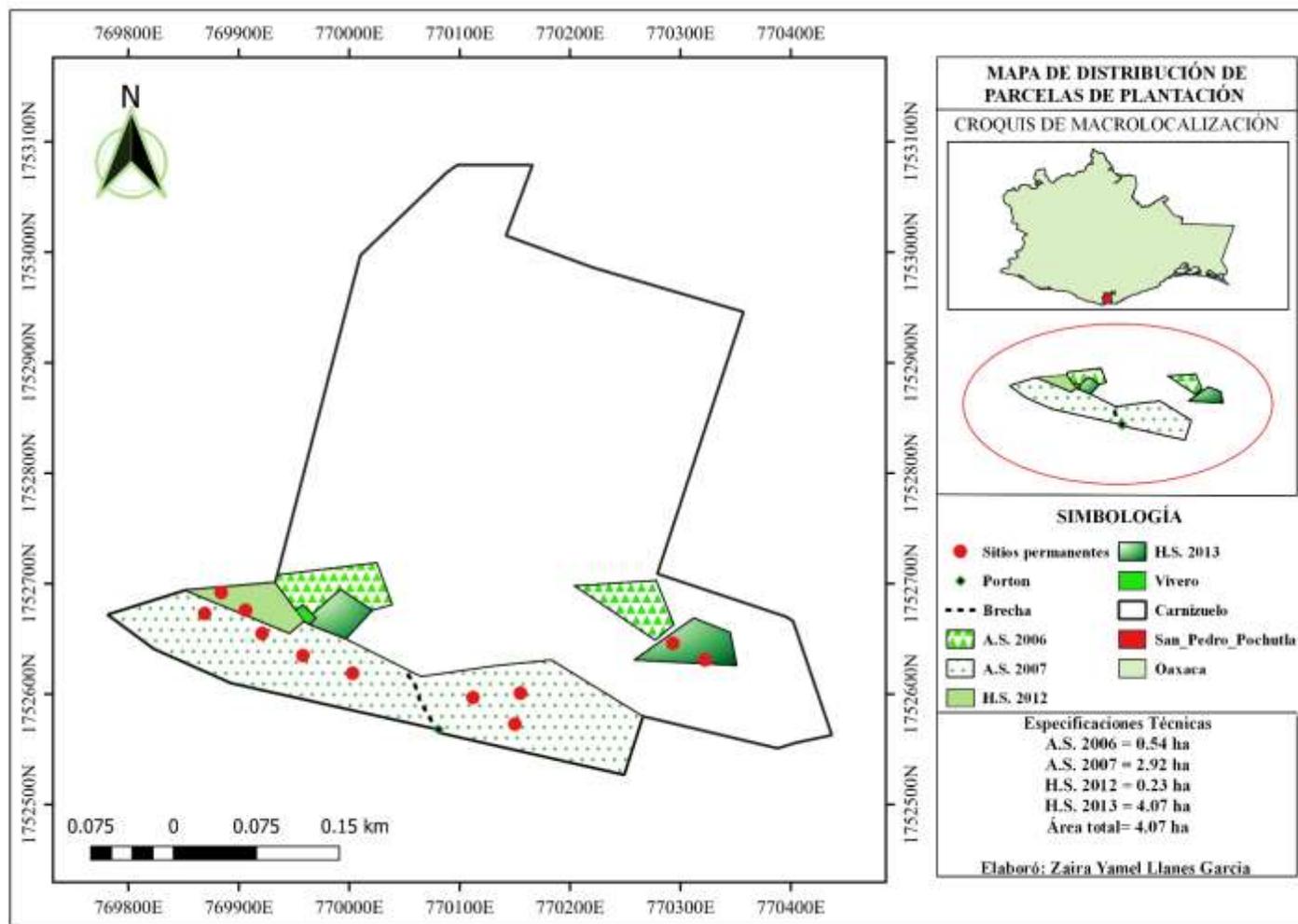


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio donde se encuentran las parcelas dentro de la plantación en “El Carnizuelo”, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Cuadro 4. Características físicas y biológicas del área de estudio

Predio “El Carnizuelo”						
Orografía	Hidrología	Edafología		Clima	Vegetación	Fauna
Pendientes: 5 a 40%	Región	Suelo	regosol	AW _o (W) igw	Selva baja caducifolia.	Variedad de fauna:
Altitud: 200 a 400 msnm.	Hidrológica RH-21 Costa de Oaxaca (Puerto Ángel).	eútrico háplico.	feozem		<i>Enterolobium cyclocarpum</i> Jack (parota, huanacastle), <i>Brosimum alicastrum</i> Swartz (capomo, ramón), <i>Gliricidia sepium</i> Jack (cocoite, cacahuananche). y <i>Astronium graveolens</i> Jack (gateado). En consecuencia, a las actividades agrícolas y el crecimiento de población, se generó una vegetación secundaria o mejor conocida como “acahual”.	Armadillo (<i>Dasypus novemcinctus</i> L.), Conejo (<i>Silvela guscunicularis</i> Waterhose), Iguana Prieta (<i>Ctenosaura similis</i> Gray), Nauyaca (<i>Porthidium dumni</i> Hartweg & Oliver), Tlacuache (<i>Didelphis marsupialis</i> L.), Vibora de Cascabel (<i>Crotalus</i> sp.) y Zorrillo (<i>Mephitis macroura</i> Lichtenstein).

Fuente: INEGI (1984, 1995, 2000, 2004 y 2005); Garcia (1981); Morales (1997)

3.3. Reevaluación de sitios permanentes

Se reevaluaron un total de once sitios, los cuales, fueron seis sitios de plantación establecida en el año 2007, un sitio de la plantación en 2006, con procedencia AS de la Sabana Tuxtepec, y cuatro sitios reevaluados con procedencia HS de Poptún, Petén, Guatemala, dos sitios fueron de la plantación establecida en el año 2013 y dos sitios de la establecida en el 2012. Los sitios son de forma circular de 250m².

3.3.1. Variables dasométricas evaluadas

Las variables evaluadas fueron altura total del árbol (m), diámetro(cm) a 1.30 m, grosor de la corteza (mm) y diámetro de copa (m).

Para medir la altura de los pinos se utilizó la pistola haga y una cuerda compensada, para el diámetro normal, se usaron cintas diamétricas y para medir la cobertura de la copa se usaron cintas métricas.

3.4. Análisis troncales

En este caso, se derribaron diez árboles, cada árbol seleccionado constaba con características de un árbol sano, de buena formación y tipo dominante, como garantía de un indicador de la productividad del rodal, estos cercanos al establecimiento de los sitios permanentes como referencia.

El derribo fue direccional, posteriormente se midió la altura del árbol antes de ser seccionado, las medias de las secciones fueron las siguientes; la primera sección fue a la base, posterior a eso a 1.30 m y seguido de 1 metro hasta llegar a la punta, también se midió la altura a la que quedó el tocón a ras del suelo.

Las rodajas fueron almacenadas en arpillas, en la cual se colocó una placa con los datos de la procedencia de la plantación, rodal, número del árbol y el sitio como referencia, posterior a eso el secado de las rodajas fue bajo el sol durante un periodo de tres meses.

El trabajo en laboratorio (evaluación de las rodajas), para llevarlo a cabo, primero se lijaron las rodajas, con ayuda de una pulidora, utilizando lijas de mayor rugosidad y posterior a eso se usó una lija más fina para que se visualizaran mejor los anillos de crecimiento. Para el conteo de los anillos se usaron lupas, lápiz tipo 2B y reglas para medir el diámetro de cada anillo.

De acuerdo con la metodología del análisis troncal, la edad total de cada árbol se obtiene a partir de la sumatoria total de anillos en la rodaja del tronco, las edades de las secciones siguientes son obtenidas restando el número de anillos observando en ellas la edad total y es así como se obtienen edades a diferentes alturas del árbol, los datos obtenidos se capturaron en una base Excel (Carrillo, 2008).

Proceso del derribo (Anexo1), proceso de lijado y conteo de anillos de las rodajas en laboratorio (Anexo 2).

3.5. Modelos de crecimiento

Los modelos propuestos se emplearon para describir el crecimiento, con base en el diagrama de dispersión de la relación edad-altura, edad diámetro, edad-área basal y edad-volumen.

De acuerdo con la literatura consultada se probaron cuatro modelos matemáticos no lineales; estos fueron elegidos ya que en trabajos de esta naturaleza son los que han mostrado mejor ajuste: (Chapman-Richards, Schumacher, Weibull y Hossfeld I) (Cuadro 5) (Barrero-Medel *et al.*, (2010), Cortés- Martínez, (2010), Barrero-Medel *et al.*, (2011) y Hernández (2021)).

El procesamiento y ajuste de los modelos se utilizó el paquete software SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0; mientras que, para la elaboración de gráficas se utilizó SigmaPlot versión 12.

Cuadro 5. Modelos para estimar el crecimiento de *Pinus caribaea* var *hondurensis*

Modelos de crecimiento	Ecuación
Chapman-Richard	$y = \beta_0(1 - \exp^{-b_1 E})^{b_2} + \varepsilon$
Hossfeld I	$y = \frac{E^2}{(\beta_0 + \beta_1 E)^2} + \varepsilon$
Weibull	$y = \beta_0(1 - \exp^{-\beta_1 E^{\beta_2}}) + \varepsilon$
Schumacher	$y = \beta_0 \exp^{-b_1 (\frac{1}{E})} + \varepsilon$

3.6. Análisis estadísticos

La selección del mejor modelo se fundamentó en los siguientes criterios de acuerdo con Vanclay (1994) y García (2014): a) El valor más alto de R^2_{adj} , b) El valor más bajo del cuadrado medio del error (CME).

3.7. Cálculo de variables para análisis troncales

Para realizar la estimación de la altura verdadera de los árboles en análisis troncales, se obtuvo mediante la fórmula de Carmean (1972) modificada por Newberry (1991), cuya expresión es:

$$H_{ij}=h_i + \left[\frac{h_{i+1} - h_i}{r_i - r_{i+1} - 0.5} \right] + [j - 1] \left[\frac{h_{i+1} - h_i}{r_i - r_{i+1} - 0.5} \right]$$

Donde:

H_{ij} = Altura total estimada para el anillo de crecimiento j basado en la sección

h_i = Altura del punto i -ésimo (sección inmediata inferior)

h_{i+1} = Altura total de la sección tope (sección inmediata posterior)

r_i = Número de anillos de crecimiento en el punto i -ésimo (sección inmediata inferior)

j = Número de anillos de crecimiento (asumiendo la medula en el punto de inicio)

r_{i+1} = Número de anillos de crecimiento en la parte terminal

0.5= Constante

Posteriormente teniendo el cálculo de la altura verdadera, se procedió a calcular el volumen de acuerdo con cada sección del árbol.

Volumen del cono

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

Donde:

V= Volumen del cono

π = Constante igual a 3.1416

r^2 = Radio al cuadrado

h = Altura estimada para el anillo de crecimiento

Volumen del paraboloide

Fórmula de Smalian

$$V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right] L$$

Donde:

V= Volumen del tronco

π = Constante igual a 3.1416

D_1 = Diámetro de la sección en la base

D_2 = Diámetro de la sección superior

L= Longitud del tronco

Volumen del Neiloide

$$V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{D_1 + D_2}{2} \right]^2 L$$

Donde:

V= Volumen del tronco

π = Constante igual a 3.1416

D_1 = Diámetro de la sección en la base

D_2 = Diámetro de la sección superior

L= Longitud del tronco

La suma de los volúmenes de las trozas de cada árbol fue igual al volumen total sin corteza del fuste.

Área basal

El área basal se determinó con la ecuación

$$AB = \frac{\pi}{4}DN^2$$

Donde: = Área basal

$\pi = 3.14159$

DN = Diámetro normal medido a 1.30 de altura a partir de la superficie del suelo

3.8. Cálculo de variables para datos de sitios permanentes

El volumen para árbol en pie se calculó mediante la fórmula expresada:

$$V = \frac{3.1416 * Dap^2 * H * F}{4}$$

Donde:

V= Volumen del árbol en pie

Dap= Diámetro del árbol a la altura del pecho en metros

H= Altura total del árbol

F= Factor de forma =0.55 de acuerdo con Aldama (2008).

3.9. Comparación de medias

De acuerdo con Olea (2016), Molina *et al.*, (2020) y Jayaraman (1999), se determinaron los siguientes supuestos para llevar a cabo una comparación de medias y para poder determinar que prueba utilizar. El primero, debe cumplirse el supuesto de homocedasticidad, esto es, igualdad de varianzas en los dos grupos, y el segundo, la variable de resultado debe ser continua y seguir una distribución normal en los dos grupos.

Para calcular el supuesto de homocedasticidad de varianzas se empleó la prueba F de Snecor. La distribución F de Snedecor es una distribución de probabilidad que se define en

función de los grados de libertad y surge como el cociente de dos variables chi-cuadradas independientes divididas por sus grados de libertad (Montilla, 2010 y García *et al.*, 2000).

La ecuación para calcular F es la siguiente:

$$F_{gl_1, gl_2} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Donde:

F = F de Snedecor

gl₁ = grados de libertad de la muestra mayor

gl₂ = grados de libertad de la muestra menor

S₁² = Varianza de la muestra mayor

S₂² = Varianza de la muestra menor

Para analizar la normalidad se usó la prueba de Shapiro Wilk, dicha prueba se usó de acuerdo con lo fundamentado por (Novales, 2010 y Rivas-Ruiz *et al.*, 2013), se emplea para contrastar normalidad cuando el tamaño de la muestra es menor a 50 observaciones por el contrario en muestras grandes es equivalente a la prueba de Kolmogórov-Smirnov.

Una vez determinada la prueba de homogeneidad de varianzas y prueba de normalidad (Anexo 3), se procede a comparar las medias. En este caso se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney, para las variables diámetro normal, altura y área basal, ya que presentaron una distribución no normal (Anexo 4) y para la variable de volumen se utilizó la prueba de la T student para dos muestras independientes con diferentes tamaños muestrales y varianzas iguales, de acuerdo con Jayaraman (1999) y Olea Serrano (2016).

Se utilizaron estas pruebas, porque, la prueba t-Student se basa en dos premisas; la primera, en una distribución normal y la segunda, donde las muestras son independientes. Permite la comparación de muestras, $n \leq 30$ y/o determina la diferencia entre la media muestral. El análisis matemático y estadístico de una prueba se suele reducir a $n > 30$, empleando pruebas no paramétricas (Boaglio *et al.*, 2020).

La prueba U de Mann-Whitney permite comparar dos medias, ya sea que provengan de una variable ordinal o de una cuantitativa con libre distribución, se basa en la diferencia de rangos y es lo equivalente a la t de student usadas en las variables cuantitativas con distribución normal (Rivas-Ruiz *et al.*, 2013, Corder y Foreman, 2014).

Los procedimientos estadísticos se determinaron mediante el software estadístico SPSS Statistics 21.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comparación de modelos de crecimiento para las procedencias en estudio, área semillera y huerto semillero.

4.1.1. Diámetro normal

En la procedencia AS, los estadísticos R^2_{adj} y CME indicaron que el modelo Weibull fue el que mejor se ajustó para estimar el crecimiento en diámetro normal, con un valor de la $R^2_{adj}=0.9034$ y un CME de 16.6516, por otra parte, el modelo con valores más cercanos al primer criterio de selección fue el modelo de Schumacher, con un valor de la R^2_{adj} de 0.9028 y un CME de 16.7381 (Cuadro 6).

Mientras que para la procedencia HS, el modelo Chapman-Richard, fue el que mejor se ajustó para estimar el crecimiento en diámetro normal, con valores de un $R^2_{adj}=0.8905$ y un CME=5.2473, seguido de este, el modelo que mostro valores cercanos fue Weibull, con un R^2_{adj} de 0.8904 y un CME de 8.4633 (Cuadro 6).

Hernández *et al.* (2021) realizaron un estudio de la estimación del crecimiento de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa*, en el cual precisaron que el modelo Weibull fue el que mejor se ajustó para estimar el crecimiento en diámetro con un $R^2_{adj}=0.7831$ y un CME=24.6016 para el *Pinus pseudostrobus*, al no ser significativos ($\alpha<0.05$) los valores de los parámetros, se usó el modelo de Schumacher con un $R^2_{adj}=0.7400$ y un CME= 29.49 para predecir el crecimiento en diámetro y *Pinus oocarpa*, el modelo de Hossfeld I fue el que registró el mejor ajuste con un $R^2_{adj} = 0.9001$ y un CME=9.9982 de igual manera al no ser significativo dicho modelo, se seleccionó el modelo de Schumacher. Del mismo modo Sosa-Antuna (2001) determinó que el modelo de Schumacher para estimar el crecimiento en diámetro es el que

mejor se ajusta para estimar el crecimiento en diámetro normal para *Pinus teocote* Schl et Cham con un $R^2_{adj} = 0.8660$ y un $CME=0.9380$ y Cortés (2010) determinó el modelo Schumacher modificado con el mejor ajuste, para *Pinus pseudostrobus* Linl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* loock y *Pinus douglasiana* Martínez con un $R^2_{adj} = 0.5994$ y un $CME=9.3262$.

Cuadro 6. Modelos de crecimiento utilizados para la variable diámetro normal de *Pinus caribaea* var *hondurensis* de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.

Tipo de ecuación	Modelo	Parámetro	Estimación	R^2	R^2_{adj}	CME	RCME	Pr>F	
Área semillera									
Diámetro normal	Chapman-Richard	B0	16.4174						
		B1	0.127	0.9023	0.9021	10.8804	3.2985	<0.0001	
		B2	1.0000						
	Schumacher	B0	19.2829	0.9033	0.9029	16.7381	4.0912	<0.0001	
		B1	4.8460						
	Weibull	B0	13.6639						
		B1	0.0287	0.9040	0.9034	16.6516	4.0806	<0.0001	
		B2	1.891						
	Hossfeld I	B0	0.7359	0.9027	0.9025	10.8355	3.2917	<0.0001	
		B1	0.2177						
	Huerto semillero								
	Diámetro normal	Chapman-Richard	B0	3187657					
B1			0.0000003653	0.8908	0.8905	5.2473	2.2907	<0.0001	
B2			1.0000						
Schumacher		B0	22.726	0.8833	0.8823	9.0866	3.0144	<0.0001	
		B1	6.8108						
Weibull		B0	7224303						
		B1	0.0000001370	0.8913	0.8904	8.4633	2.9092	<0.0001	
		B2	1.0776						
Hossfeld I		B0	1.3295	0.8880	0.8874	5.3982	2.3234	<0.0001	
		B1	0.158						

Dónde: R^2 = Raíz cuadrada, R^2_{adj} = R cuadrada ajustada, CME= Cuadrado medio del error, RCME= Raíz cuadrada del error medio, Pr>F= Probabilidad estadística.

4.1.2. Altura

En la variable altura para la procedencia AS el modelo Hossfeld I fue el que mejor se ajustó de acuerdo con los criterios estadísticos evaluados, con valores de R^2_{adj} de 0.9074 y un CME de 7.7703, seguido de este modelo, Chapman-Richard se ajustó con un R^2_{adj} de 0.9072 y un CME de 2.7930, mientras que Schumacher y Weibull arrojaron el mismo valor de R^2_{adj} con un valor de 0.9281 (Cuadro 7).

En cambio, en la segunda procedencia en estudio el modelo que mostró mejor ajuste fue el modelo de Weibull, con valores de 0.9280 para R^2_{adj} y 3.5566 de CME, en esta variable el modelo con valores cercanos fue Chapman-Richard, con un R^2_{adj} de 0.9271 y un CME de 2.2366, siendo este modelo el que tiene el CME más bajo, pero la selección del modelo para estimar el crecimiento de dicha variable se basó en el primer criterio, que es la R^2_{adj} mayor o bien cercana a 1 (Cuadro 7).

Sosa-Antuna (2001) obtuvo los mismos modelos con mejor ajuste para el predecir el crecimiento en altura para *Pinus teocote*, el modelo Chapman-Richard y Weibull con un $R^2_{adj}=0.9253$ y un CME=0.1813.

Por otro lado, Barrero Medel *et al.*, (2011b) en su estudio sobre la obtención de curvas anamórficas de índice de sitio para la *Pinus caribaea* var. *caribaea*, utilizó los modelos de Chapman-Richard y Schumacher, ya que son modelos denominados con restricciones en los que la altura dominante coincide con el índice de sitio de edad de referencia, en el cual Chapman-Richard fue el que tuvo mejor bondad de ajuste con un $R^2_{adj} = 0.756$.

En un estudio realizado por Hernández *et al.*, (2021), donde evaluaron dos especies de pino, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa*, obtuvieron que los modelos ajustados para estimar el crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* fue el modelo Chapman-Richard, con un $R^2_{adj}=0.9650$ y un CME de 2.5898 y Weibull con un $R^2_{adj} = 0.9645$ y un CME de 2.6321, al considerar el nivel de significancia de los estimadores de los parámetros se desestimó el modelo de Weibull, mientras que para el *Pinus oocarpa* ajustaron los modelos de

Schumacher con un $R^2_{adj} = 0.9695$ y un CME de 1.4496 y Weibull con un $R^2_{adj} = 0.9688$ y un CME de 1.5153.

Cuadro 7. Modelos de crecimiento utilizados para la variable altura de *Pinus caribaea* de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.

Tipo de ecuación	Modelo	Parámetro	Estimación	R^2	R^2_{adj}	CME	RCME	Pr>F	
Área semillera									
Altura	Chapman-Richard	B0	20.8007	0.9074	0.9072	7.7930	2.7916	<0.0001	
		B1	0.06380						
		B2	1.0000						
	Schumacher	B0	19.9627	0.9075	0.9071	12.0953	3.4778	<0.0001	
		B1	6.9023						
	Weibull	B0	14.822	0.9077	0.9071	12.0980	3.4782	<0.0001	
		B1	0.0476						
		B2	1.3664						
	Hossfeld I	B0	1.1354	0.9077	0.9074	7.7703	2.7875	<0.0001	
		B1	0.2045						
	Huerto semillero								
	Altura	Chapman-Richard	B0	13702162	0.9273	0.9271	2.2366	1.4955	<0.0001
B1			0.0000000231						
B2			3						
Schumacher		B0	19.4489	0.9160	0.9153	4.1879	2.0464	<0.0001	
		B1	7.1903						
Weibull		B0	5312354	0.9287	0.9281	3.5566	1.8859	<0.0001	
		B1	0.00000017						
		B2	1.1275						
Hossfeld I		B0	1.5823	0.9236	0.9232	2.3562	1.5350	<0.0001	
		B1	0.1615						

Dónde: R^2 = Raíz cuadrada, R^2_{adj} = R cuadrada ajustada, CME= Cuadrado medio del error, RCME= Raíz cuadrada del error medio, Pr>F= Probabilidad estadística.

4.1.3. Área basal

Para predecir el crecimiento en área basal, para ambas procedencias el modelo que mejor ajustó fue Hossfeld I, para el caso de la procedencia AS hubo dos modelos que arrojaron el mismo valor para R^2_{adj} y CME, el cual fue el modelo de Chapman-Richard y Hossfeld, con valor de 0.7787 en R^2_{adj} y 0.00004 de CME, se empleó el modelo de Hossfeld, ya que es el que tiene menos parámetros por lo que se considera que es más estable, siendo que si tiene más parámetros es más difícil que haya convergencia entre nuestros datos (Cuadro 8).

Por el contrario, en la procedencia HS estos mismos modelos presentaron el mismo valor de CME, pero el modelo que arrojó el valor más alto en la R^2_{adj} fue Hossfeld I con un valor de 0.6803 y un CME de 0.00002. seguido el modelo de Schumacher, con un R^2_{adj} con valor de 0.65824 (Cuadro 8).

López *et al.*, (2007) aplicaron el modelo propuesto por Clutter, para la proyección de área basal (m^2/ha), el cual presentó un ajuste favorable, con un $R^2=0.98$, con un error de 0.07 y una tendencia de subestimación de 0.028. En cambio Hernández *et al.*, (2021) encontraron la mejor bondad de ajuste en el crecimiento en área basal de *Pinus pseudostrobus* Lindl el modelos de Schumacher con valor en su $R^2_{adj}=0.7105$ y el modelo Chapman-Richards con un $R^2_{adj}=0.7063$ y $CME=0.0003$, ya que los parámetros no fueron significativos dicho modelo se desestimó, mientras que para *Pinus oocarpa* la mejor bondad de ajuste se halló en los modelos Chapman-Richards y Weibull, con un valor de R^2_{adj} de 0.9154 y 0.9120 respectivamente, con un CME de 0.00009 para ambos modelos.

Cuadro 8. Modelos de crecimiento utilizados para la variable área basal de *Pinus caribaea* de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.

Tipo de ecuación	Modelo	Parámetro	Estimación	R2	R ² adj	CME	RCME	Pr>F	
Área semillera									
Área basal	Chapman-Richard	B0	0.0787	0.7766	0.7787	0.00004	0.0060	<0.0001	
		B1	0.0166						
		B2	1.0000						
	Schumacher	B0	0.0329	0.7782	0.7781	0.0001	0.0075	<0.0001	
		B1	9.9025						
	Weibull	B0	0.0169	0.7791	0.7781	0.0001	0.0075	<0.0001	
		B1	0.00370						
		B2	2.5578						
	Hossfeld I	B0	43.8075	0.7774	0.7787	0.00004	0.0060	<0.0001	
		B1	4.7081						
	Huerto semillero								
	Área basal	Chapman-Richard	B0	2012.4	0.5893	0.5916	0.00002	0.0048	<0.0001
B1			1.02E-07						
B2			5.0000						
Schumacher		B0	0.1812	0.6629	0.6582	0.00003	0.0056	<0.0001	
		B1	26.1342						
Weibull		B0	-0.0293	0.6800	0.6803	0.00003	0.0054	<0.0001	
		B1	-0.003340						
		B2	2.0183						
Hossfeld I		B0	109.8	0.6805	0.6804	0.00002	0.0042	<0.0001	
		B1	-1.9862						

Dónde: R²= Raíz cuadrada, R²_{adj}= R cuadrada ajustada, CME= Cuadrado medio del error, RCME= Raíz cuadrada del error medio, Pr>F= Probabilidad estadística.

4.1.4. Volumen

El modelo que tuvo mejor ajuste para esta variable, en la procedencia AS como en la procedencia HS fue el modelo de Hossfeld I. Para el área semillera presentó un R^2_{adj} de 0.6654 y CME de 0.0030, seguido de este el modelo Schumacher mostró los valores más cercanos a estos estadísticos, 0.6651 y 0.0047 (Cuadro 9), en el huerto semillero arrojó valores de su R^2_{adj} de 0.6937 y un CME de 0.0003, el segundo modelo que mostró los valores más cercanos a este ajuste fue el modelo de Weibull, con un R^2_{adj} de 0.6916 y CME de 0.004 (Cuadro 9).

Por su parte Barrero Medel *et al.*, (2010) en su trabajo sobre modelación del crecimiento del *Pinus caribaea* var *caribaea*, donde aplicaron dos modelos, cuáles fueron el de Schumacher y Chapman-Richard, donde para la variable volumen el modelo de mejor comportamiento de su bondad de ajuste fue el de Chapman-Richard con un $R^2_{adj} = 0.888$. Así mismo dicho autor en 2011 en su trabajo “Determinación del turno de corta para *Pinus caribaea* var *caribaea* en la empresa forestal integral Macurije”, Chapman-Richard presentó el mejor ajuste con un valor en su $R^2_{adj} = 0.77$.

López *et al.*, (2007) emplearon el modelo propuesto por Clutter, para la producción de volumen (m^3/ha), donde dicho modelo presentó un buen ajuste ($R^2 = 0.99$), en el cual la dispersión de los estimados presenta un comportamiento homogéneo, sin valores atípicos que sesguen el modelo.

Mientras tanto Suárez *et al.* (2013) realizaron una modelación matemática del volumen por hectárea de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, evaluando siete modelos de crecimiento, en los que los valores estadísticos fueron similares para todos, tres de ellos presentaron parámetros no significativos, el modelo seleccionado fue el que describió correctamente la evolución en el tiempo el ICA e IMA, por lo tanto, el modelo seleccionado fue el de Terazaki con un $R^2_{adj} = 0.637$.

Hernández *et al.*, (2021) determinaron la mejor bondad de ajuste en el modelo de Weibull para las dos especies de pino que estudió, *Pinus pseudostrobus* Lindl y *Pinus oocarpa* con un valor de R^2_{adj} fue de 0.9338 y un $CME=0.0085$ para ambas especies, cabe mencionar que, aunque este modelo tuvo el mejor ajuste, no fue significativo, por el cual los modelos para estimar el crecimiento en volumen fueron Schumacher y Chapman-Richard.

Cuadro 9. Modelos de crecimiento utilizados para la variable volumen de *Pinus caribaea* de dos procedencias en una plantación comercial en San José, Chacalapa, Pochutla Oaxaca.

Tipo de ecuación	Modelo	Parámetro	Estimación	R2	R ² adj	CME	RCME	Pr>F	
Área semillera									
Volumen	Chapman-Richard	B0	30942	0.6564	0.6555	0.0031	0.0559	<0.0001	
		B1	0.00000026						
		B2	1.0000						
	Schumacher	B0	0.4842	0.6665	0.6651	0.0047	0.0687	<0.0001	
		B1	19.3998						
	Weibull	B0	0.1486	0.6663	0.6644	0.0047	0.0688	<0.0001	
		B1	0.000731						
		B2	2.9361						
	Hossfeld I	B0	32.6855	0.6659	0.6654	0.0030	0.0551	<0.0001	
		B1	0.5394						
	Huerto semillero								
	Volumen	Chapman-Richard	B0	10402.40	0.5942	0.5932	0.0003	0.0185	<0.0001
B1			0.00000012						
B2			3.2000						
Schumacher		B0	0.599	0.6842	0.6813	0.0004	0.0208	<0.0001	
		B1	24.3886						
Weibull		B0	-0.5942	0.6953	0.6916	0.0004	0.0205	<0.0001	
		B1	-0.00035						
		B2	2.3528						
Hossfeld I		B0	55.3637	0.6953	0.6937	0.0003	0.0161	<0.0001	
		B1	-0.994						

Dónde: R^2 = Raíz cuadrada, R^2_{adj} = R cuadrada ajustada, CME = Cuadrado medio del error, $RCME$ = Raíz cuadrada del error medio, $Pr>F$ = Probabilidad estadística.

4.2. Comparación de curvas de crecimiento e incrementos de ambas procedencias

4.2.1. Crecimiento e incremento en diámetro normal

El crecimiento e incremento se estimó a partir de los resultados obtenidos del modelo ajustado, para la procedencia AS fue el modelo de Weibull. La curva de crecimiento tiende a ser de forma sigmoideal, al inicio la curva presenta un crecimiento rápido hasta llegar a un punto de inflexión, el cual se presenta a la edad de 7.6 años, alcanzando un diámetro de 10.06 cm, y a partir de este punto empieza a estabilizarse dicha curva (Figura 2).

El ICA máximo 1.7234 cm/año ocurre a la edad de 5 años y el máximo IMA de 1.3261 cm/año a los 7.6 años, así mismo es donde se interceptan las curvas, es decir donde $ICA=IMA$, indicándonos la presencia de turno absoluto (Figura 3).

Por el contrario, en la procedencia HS la curva de crecimiento es de forma lineal con tendencia a crecer gradualmente y constante, por lo tanto, el ICA e IMA se comportan con valores iguales. El ICA e IMA que presenta es de 1.645 cm/año de la edad 0 a la edad de 15 años (Figura 3).

Hernández *et al.* (2021) para las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa*, el comportamiento de las curvas de crecimiento en la primera especie es sigmoideal tendiendo a cero mientras que para la segunda especie la curva es en forma de J, donde el crecimiento continúa en sentido ascendente hasta alcanzar la asíntota. El máximo ICA se presenta a los 12 (1.09 cm) y 15 años (0.86 cm).

Sosa-Antuna (2001) hizo un estudio sobre crecimiento e incremento en regeneración natural de *Pinus teocote* la curva de crecimiento presentó una forma casi lineal con una curva ligera, el máximo incremento en diámetro ocurre a los ocho años, punto en el que IMA e ICA se cruzan, donde posteriormente a esta intersección ambos tienden a descender quedando el ICA encima del IMA.

4.2.2. Crecimiento e incremento en altura

Para la procedencia AS en la variable altura, la curva de crecimiento es de tendencia sigmoïdal, alcanzando su punto de inflexión a los 6 años, dicho punto ocurre cuando el incremento IMA alcanza su máximo, o bien decir, es el punto de intersección entre ICA e IMA, indicando que estos incrementos a esa edad son iguales para el crecimiento en altura. El máximo ICA presentado fue de 1.2654 m/año a la edad de 3 años y el máximo IMA de 1.0751 m/año presentándose a la edad de 6 años alcanzando una altura de 6.54 m (Figura 4). Mientras que la curva de crecimiento para la procedencia HS, tiende un poco a declinarse a formar una curva en forma de J, el cual nos indica que aún se encuentra en desarrollo dicho crecimiento, los incrementos que presenta se comportan en líneas paralelas y crecimiento, es decir no se ha llegado a su turno absoluto, el máximo ICA es de 1.1540 m²/año y el máximo IMA es de 1.0279 m²/año, presentándose a la edad de 15 años, que es la mayor que se determinó mediante análisis troncal (Figura 5). Barrero-Medel *et al.*, (2011a) realizaron un estudio sobre la “Determinación del turno de corta para *Pinus caribaea* var *caribaea* en la empresa forestal integral Macurije”, la curva del comportamiento medio de la altura dominante es de forma sigmoïdal, definiendo el índice de sitio como la altura dominante a una edad de 35 años.

Hernández *et al.*, (2021) encontraron que para las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa*, Los máximos ICA en altura total determinados con la ecuación derivada del modelo de Schumacher ocurrieron a los 8 (1.15 m) y 7 años (0.90 m).

4.2.3. Crecimiento e incremento en área basal

La tendencia de la curva del crecimiento en área basal en la procedencia AS es sigmoïdal, se observa su punto de inflexión a la edad de 9.8 años, dicho punto se determina a partir del máximo IMA, que es también donde el ICA es igual al IMA. El máximo ICA se presenta a la edad de 5 años con 0.00143 m²/año y el máximo IMA de 0.00121 que se presentó para los años 8, 9 y 10, así mismo a partir de esta edad el IMA comienza a decrecer suavemente mientras que el ICA tiende a decrecer con mayor rapidez (Figura 6).

Sin embargo, la curva de crecimiento en área basal de la procedencia HS es de forma de J, el cual dicho crecimiento se encuentra en desarrollo y tiende a subir, el comportamiento del ICA e IMA por ende tienden a comportarse en curvas que indican que se encuentran en desarrollo (Figura 7).

López *et al.*, (2007) empleó un modelo de crecimiento propuesto por Clutter (1963), para la predicción de área basal, donde los valores estimados por dicho modelo tendieron a ser menores que los valores observados hasta que el rodal alcanza aproximadamente 22 m²/ha.

Hernández *et al.*, (2021) encontraron que para las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa* el ICA máximo es a los 30 y 37 años (0.0017 cm).

4.2.4. Crecimiento e incremento en volumen

El crecimiento en volumen para la procedencia AS se encuentra en desarrollo, ya que la curva ajustada tiende a comportarse en forma de J, por ende, no encontramos punto de inflexión, ni un turno absoluto. Los incrementos tanto ICA e IMA están en constante crecimiento, donde ambas curvas se comportan de manera paralela, el ICA máximo presentado es de 0.0147 m³/año y el IMA máximo de 0.0094 m³/año, estos correspondientes a la edad de 16 años, que es la edad que máxima que tiene la plantación (Figura 8).

Al igual para la procedencia HS, el comportamiento de la curva de crecimiento es en forma de J, el cual indica que el estado de crecimiento se encuentra en desarrollo, también podemos observar que de la edad 0 a la edad 6 que el crecimiento en volumen es gradualmente y partir de la edad 6 tiende a dispararse un poco más. El máximo ICA presentado es de 0.0234 m³/año y el máximo IMA es de 0.0092 m³/año a la edad máximo de la procedencia, en este caso 15 años (Figura 9).

Barrero Medel *et al.*, (2010) hallaron en su estudio sobre modelación del crecimiento del *Pinus caribaea* var *caribaea*, que la culminación de ICA sucede a la edad de 20 años y el máximo IMA y punto de intersección donde ICA=IMA sucede a la edad de 35 años, lo que

viene siendo el doble de edad de los que tiene la plantación que se estudia en el presente estudio.

Barrero Medel *et al.*, (2011) precisaron que en *Pinus caribaea* var. *caribaea* el máximo ICA se alcanza a la edad de 20 años, mientras que el máximo IMA se encuentra a la edad de 33 años, mismo donde se da el punto de intersección donde ICA=IMA, cabe mencionar que dicho autor presenta los incrementos en m³/ha y en el presente estudio son m³/ año respecto a cada árbol evaluado. El *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ha experimentado resultados similares (Montero, 1992 y Montero *et al.*, 2000) en sitios de Oaxaca, México, donde la culminación de los IMA para el volumen comercial se ubica entre las edades de 30-35 años y de 25-30 años con valores de 14, 17 y 21 m³ /ha/año para los índices de sitio 12, 15 y 18 respectivamente, fijando un turno alrededor de los 31 años.

López *et al.*, (2007) mencionaron que la ecuación ajustada, propuesta por Clutter, para estimar el volumen por hectárea presenta un comportamiento homogéneo de los residuos, sin valores atípicos que sesguen el modelo. Así mismo determinó que la rotación óptima para índice de sitio 18 y 22, es entre 12 y 13 años, respectivamente, coincidiendo con el punto de intersección de ICA e IMA. En el cual determinó que el incremento medio anual en volumen para dicha especie presenta un crecimiento rápido, alcanzando valores máximos de 43.7 m³ /ha/año y 27.3 m³ /ha/año, produciendo rotaciones biológicas relativamente cortas de 13 y 12 años en índices de sitio 22 y 18, respectivamente.

Suárez *et al.*, (2013) llevaron a cabo una modelación matemática del volumen por hectárea de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, seleccionando el modelo de ajuste, el comportamiento de la curva de los predichos muestra una curva exponencial invertida, en cuanto a los incrementos ICA e IMA, el punto de inflexión se da a los 5 años, igualándose después ICA e IMA a los 11 años, con una tasa de crecimiento de 7.23 m³/ha/año. No obstante, Hernández *et al.*, (2021) encontraron que para las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa* el ICA máximo se presentaron a las edades de 38 (0.024 m³) y 41 años (0.018 m³) respectivamente.

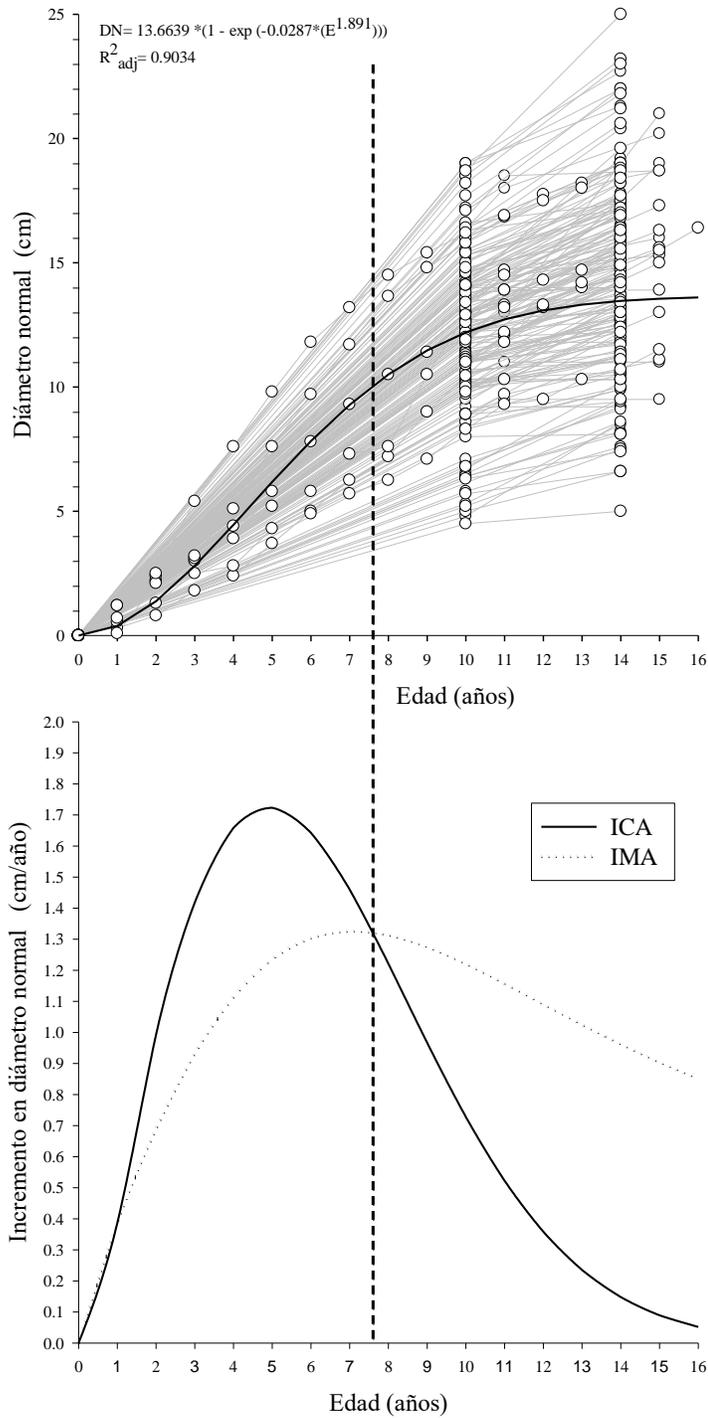


Figura 2. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable diámetro normal para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia AS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). Nota: La línea punteada vertical representa el punto donde se encuentra el turno absoluto.

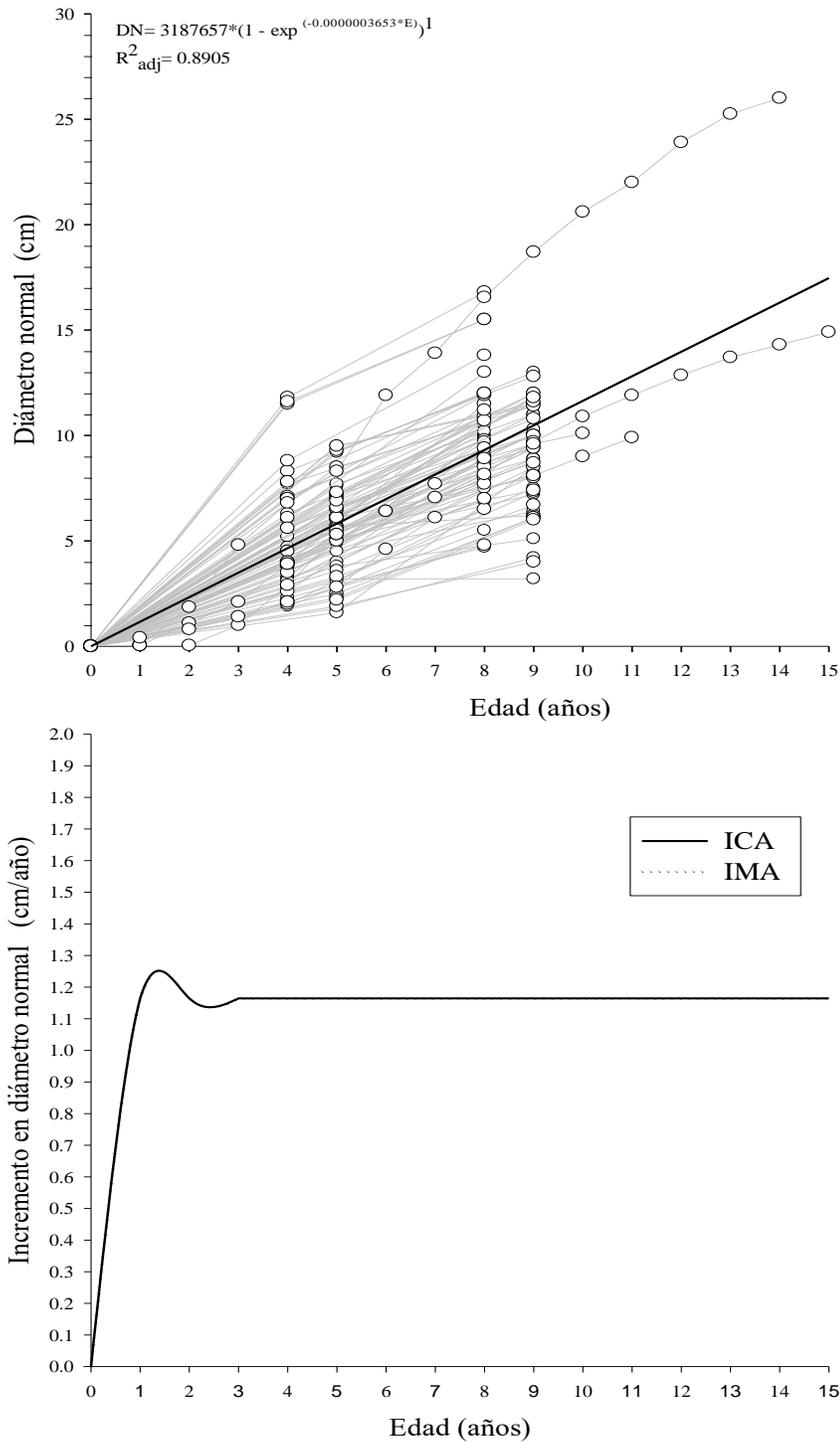


Figura 3. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable diámetro normal para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia HS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior).

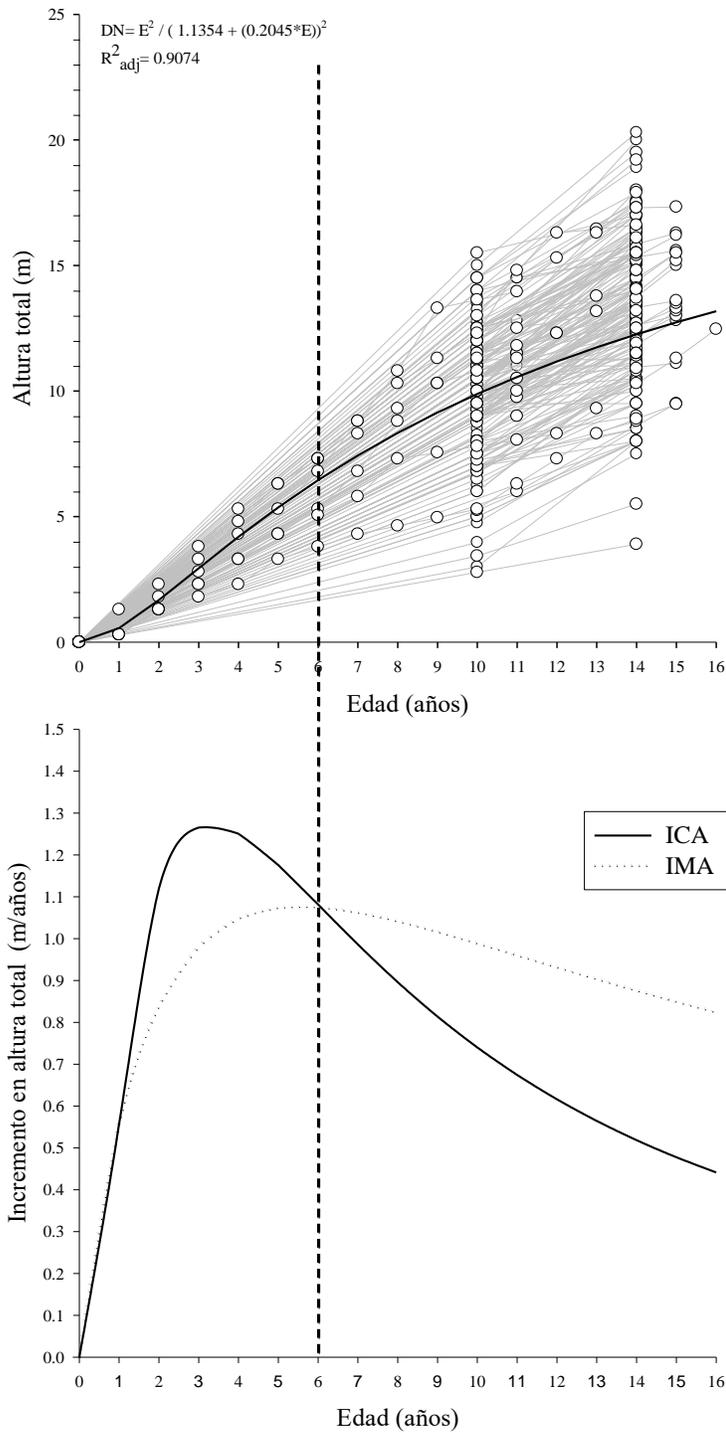


Figura 4. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable altura total para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia AS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). Nota: La línea punteada vertical representa el punto donde se encuentra el turno absoluto.

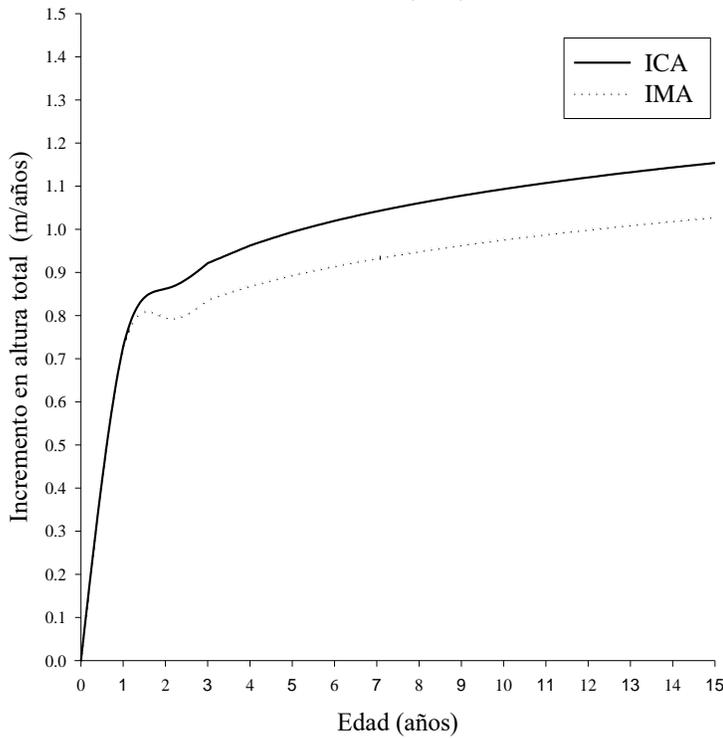
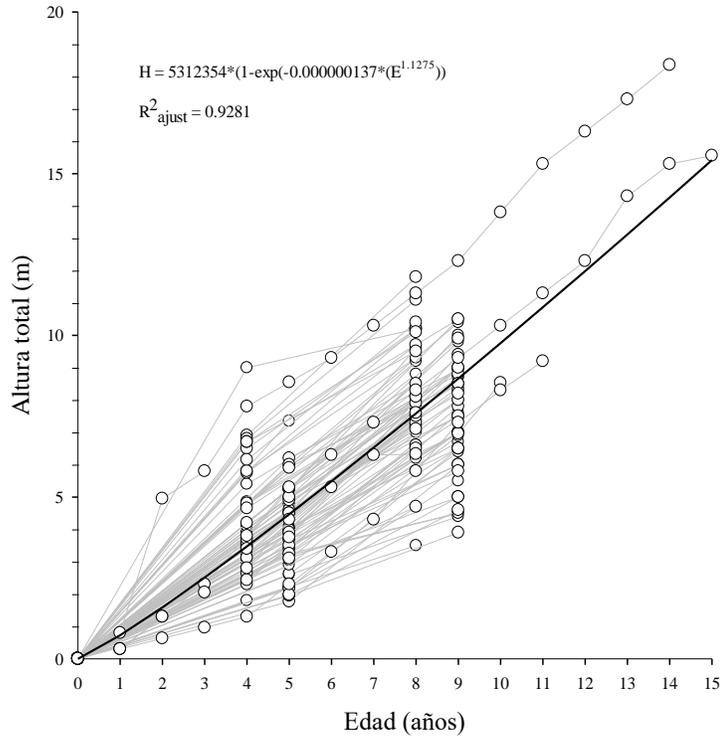


Figura 5. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable altura total para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia HS, (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior).

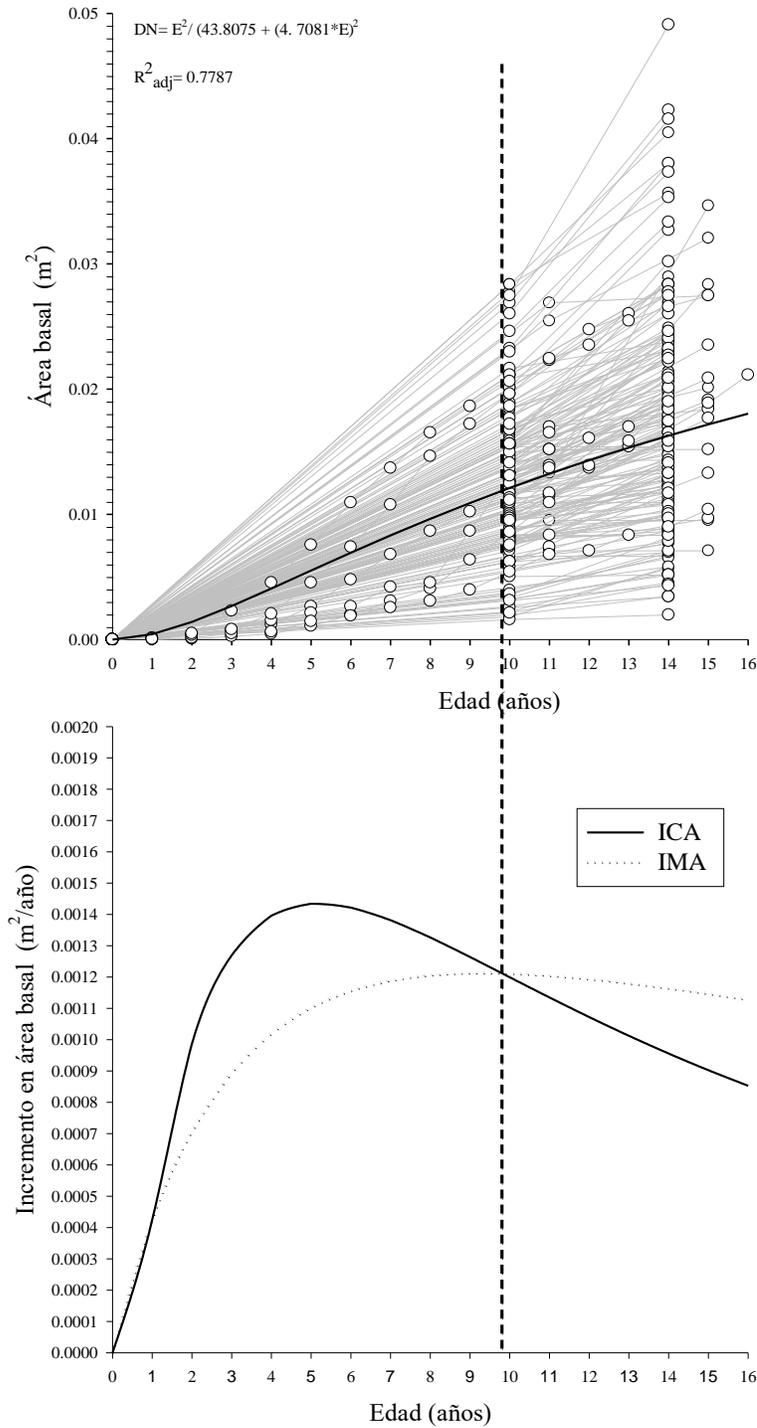


Figura 6. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable área basal para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia AS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior). Nota: La línea punteada vertical representa el punto donde se encuentra el turno absoluto.

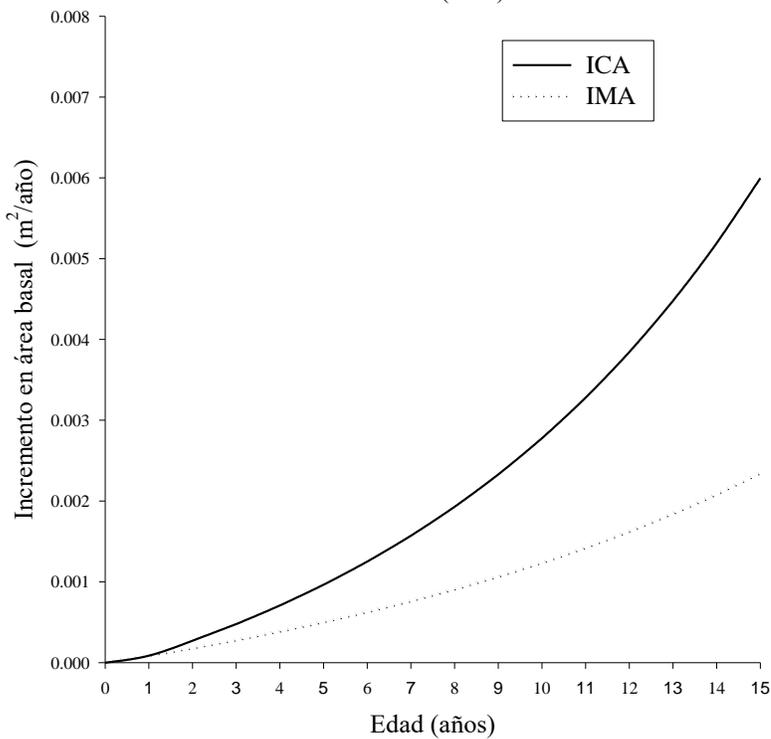
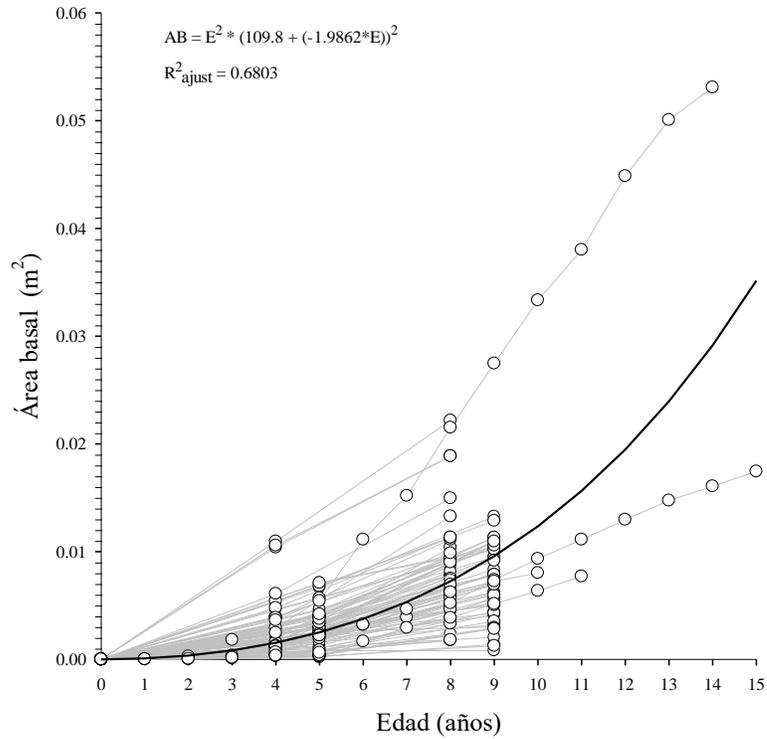


Figura 7. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable área basal para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia HS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior).

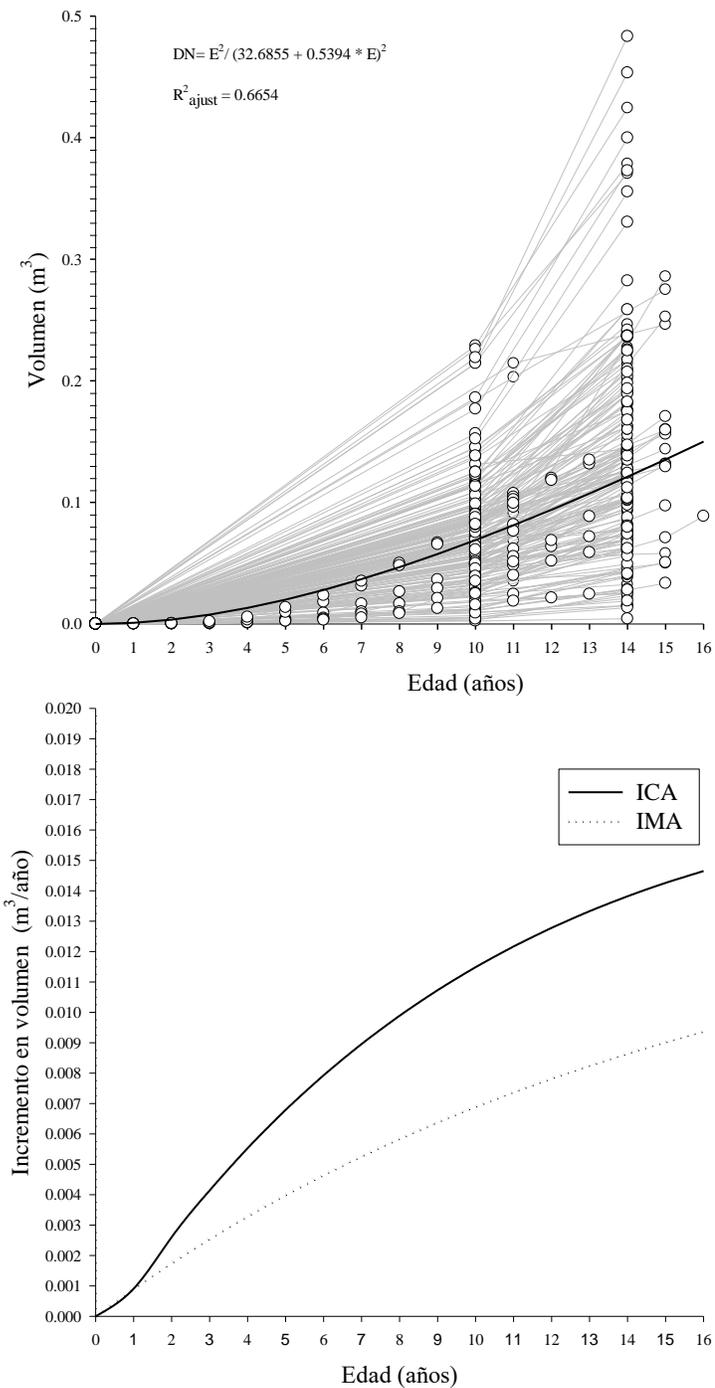


Figura 8. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable volumen para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia AS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior).

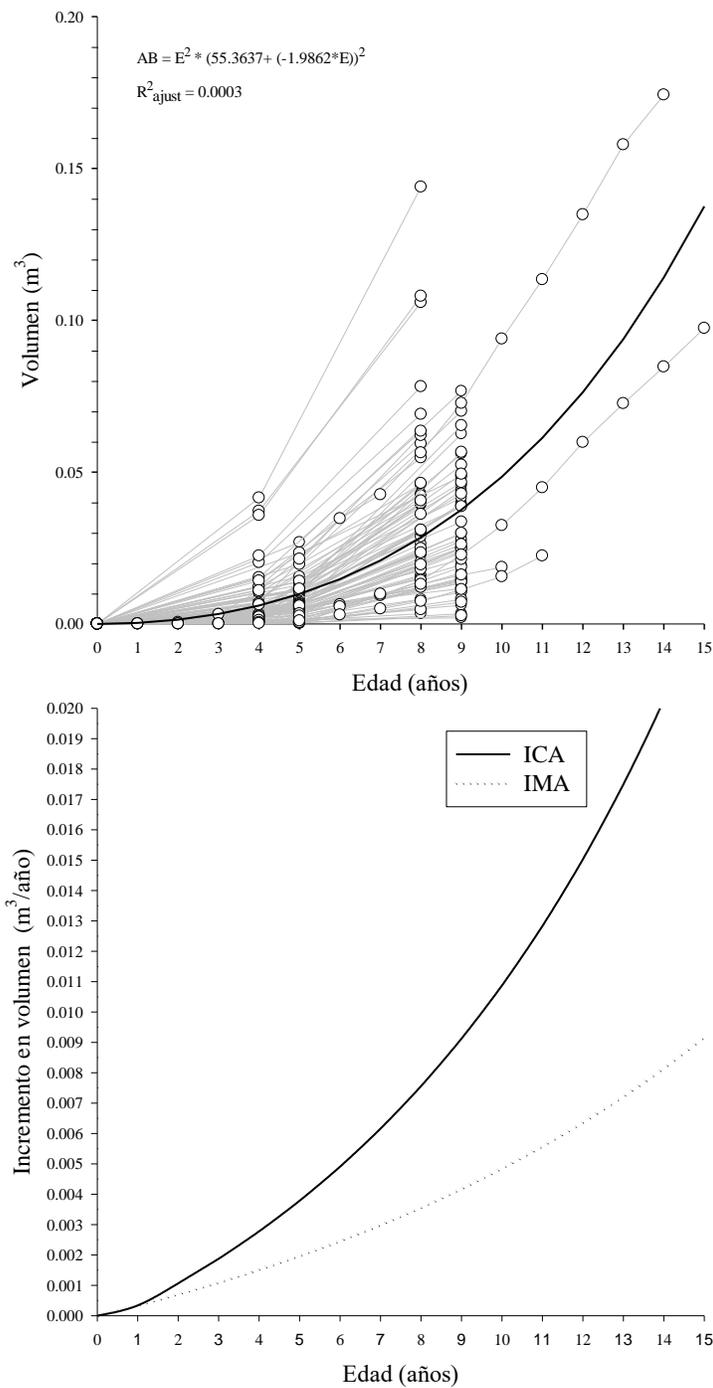


Figura 9. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva del modelo ajustado a la variable volumen para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la procedencia HS (gráfica superior) y curvas de incrementos (gráfica inferior).

4.3. Comparación descriptiva del crecimiento para ambas procedencias

4.3.1. Crecimiento de diámetro normal en ambas procedencias

Comparando las curvas de crecimiento, edad-diámetro normal, se observa que el comportamiento es diferente, ya que la curva de crecimiento de la procedencia AS es sigmoideal, y la curva que presenta la procedencia HS es lineal con pendiente positiva, en las cuales en la curva de “DN AS” se encontró un punto de inflexión a los 7.6 años y para la curva “DN HS” no existe, pues el crecimiento aún se encuentra en desarrollo. También se puede apreciar que el diámetro en los años de 0 a 4, el crecimiento en diámetro es superior al del área semillera, de los 4 años a 11 años el crecimiento del área semillera es inferior al del huerto semillero y a partir de ahí comienza a establecerse, mientras que el crecimiento en diámetro para el huerto sigue siendo continuo.

El diámetro alcanzado a la edad de 15 años para el área semillera es de 13.55 cm y para el huerto semillero fue es de 17.46 cm (Figura 10).

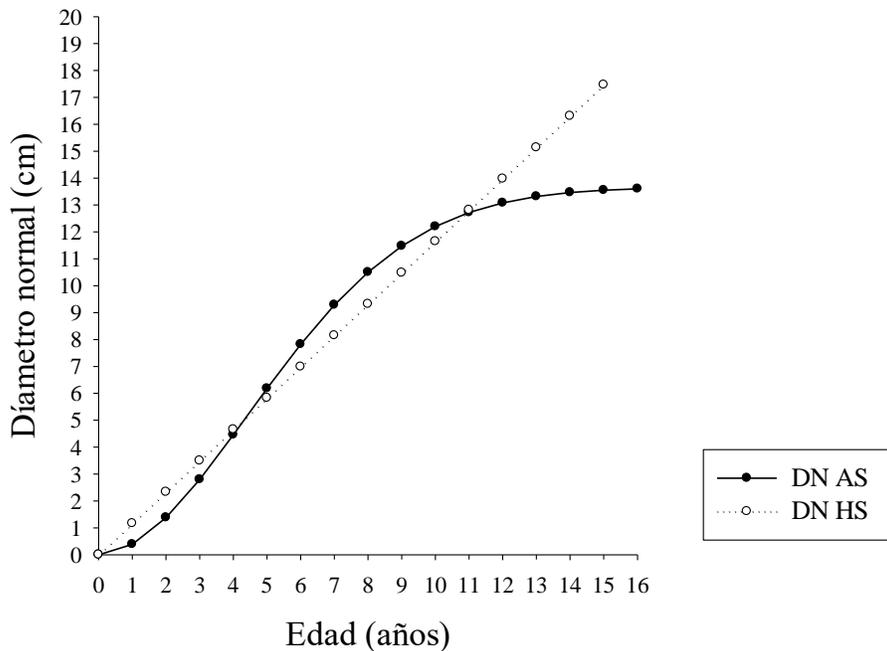


Figura 10. Curvas de crecimiento en diámetro (cm) de la procedencia AS y procedencia HS. (DN AS= Diámetro normal área semillera, DN HS= Diámetro normal huerto semillero).

4.3.2. Crecimiento en altura total para ambas procedencias

El comportamiento del crecimiento en altura para ambas procedencias es diferente, siendo que la curva de crecimiento H AS es de forma sigmoïdal, donde su punto de inflexión es a los 6 años, en cambio la curva de crecimiento H HS, tiende a declinarse a una curva en forma de J, en el cual no se encuentra punto de inflexión.

Se observa que el crecimiento de la edad 0 a 11 años es mayor el del área semillera, y de la edad 11 a 15 años es superior el de huerto semillero, con tendencia a seguir creciendo, la altura alcanzada a los 15 años es de 12.73 m para el área semillera y 15.41 para el huerto semillero (Figura 11).

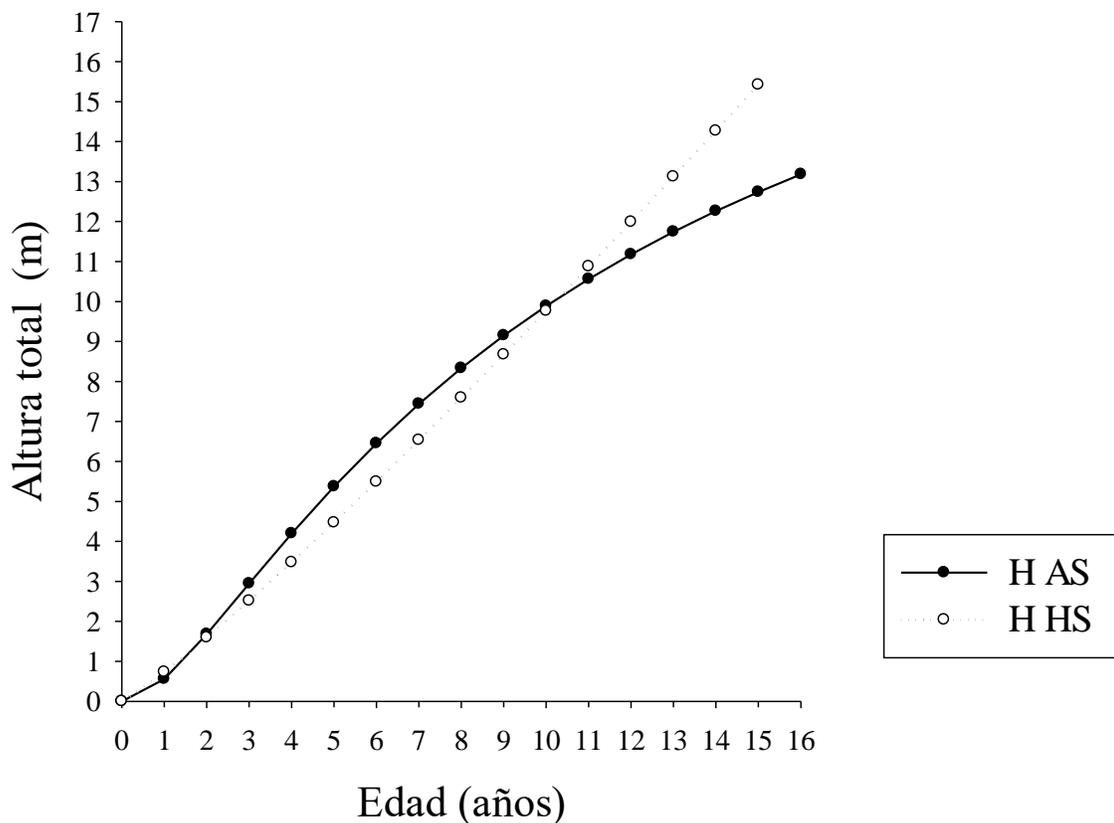


Figura 11. Curvas de crecimiento en altura total (m) de la procedencia AS y procedencia HS. (H AS= Altura área semillera, H HS= Altura huerto semillero).

4.3.3. Crecimiento en área basal para ambas procedencias

Comparando las curvas de crecimiento, edad-área basal, se observa que el comportamiento es diferente, dado que la curva de crecimiento de la procedencia AS es sigmoideal, y la curva que presenta la procedencia HS es de forma de J, indicando que el crecimiento en área basal está en desarrollo aún, en las cuales en la curva de “AB S” encontramos un punto de inflexión a los 9.8 años y para la curva “AB H” no lo tenemos esto debido a la forma que presenta la curva. También se puede apreciar que el área basal en los primeros años de 0 a 10, el crecimiento en área basal es superior al del área semillera, de los 4 años a 11 años el crecimiento del área semillera es superior al del huerto semillero, y a partir de la edad de 10 años el crecimiento en área basal del huerto semillero es superior y al del área semillera y además este se encuentra aún en crecimiento continuo mientras que el crecimiento del área semillera se va estableciendo (Figura 12).

El área basal alcanzada a la edad de 15 años para el área semillera es de 0.0171 m² y para el huerto semillero fue es de 0.0351 m².

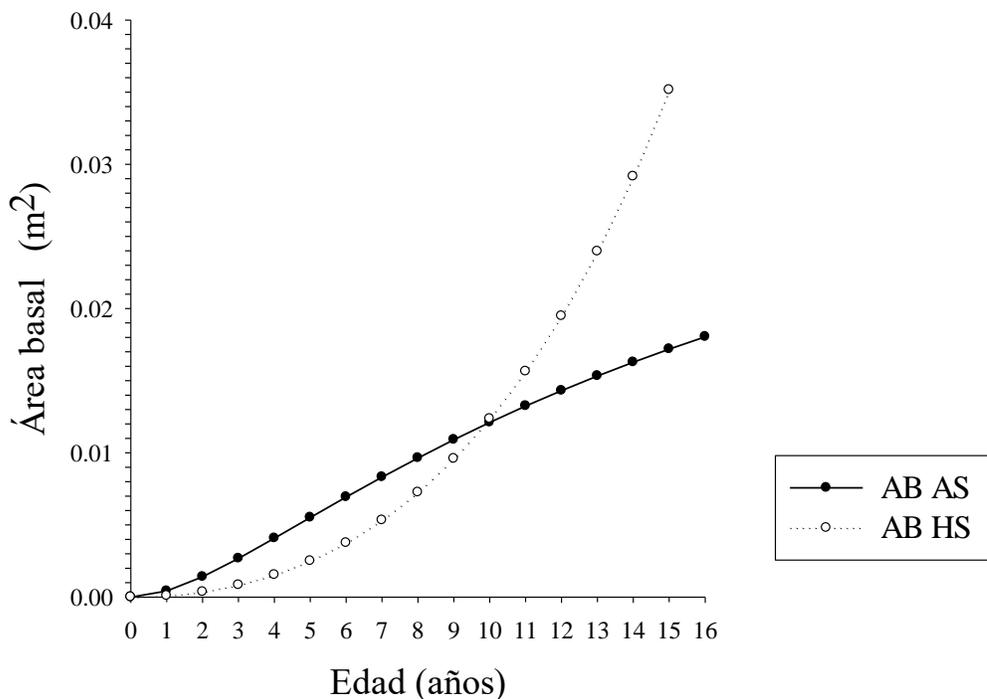


Figura 12. Curvas de crecimiento en área basal (m²) de la procedencia AS y procedencia HS. (AB AS= Área basal área semillera, AB HS= Área basal huerto semillero).

4.3.4. Crecimiento en volumen para ambas procedencias

Comparando las curvas de crecimiento, edad-volumen, observamos que el comportamiento de las curvas de crecimiento es igual, tendiendo a formar una J en su curva de crecimiento, el volumen del área semillera de la edad 0 a la edad 14 es mayor a la del huerto semillero, y hasta la edad 15 el volumen del huerto semillero es superior al del área semillera con valores de 0.1353 m^3 y 0.1374 m^3 para el huerto (Figura 13).

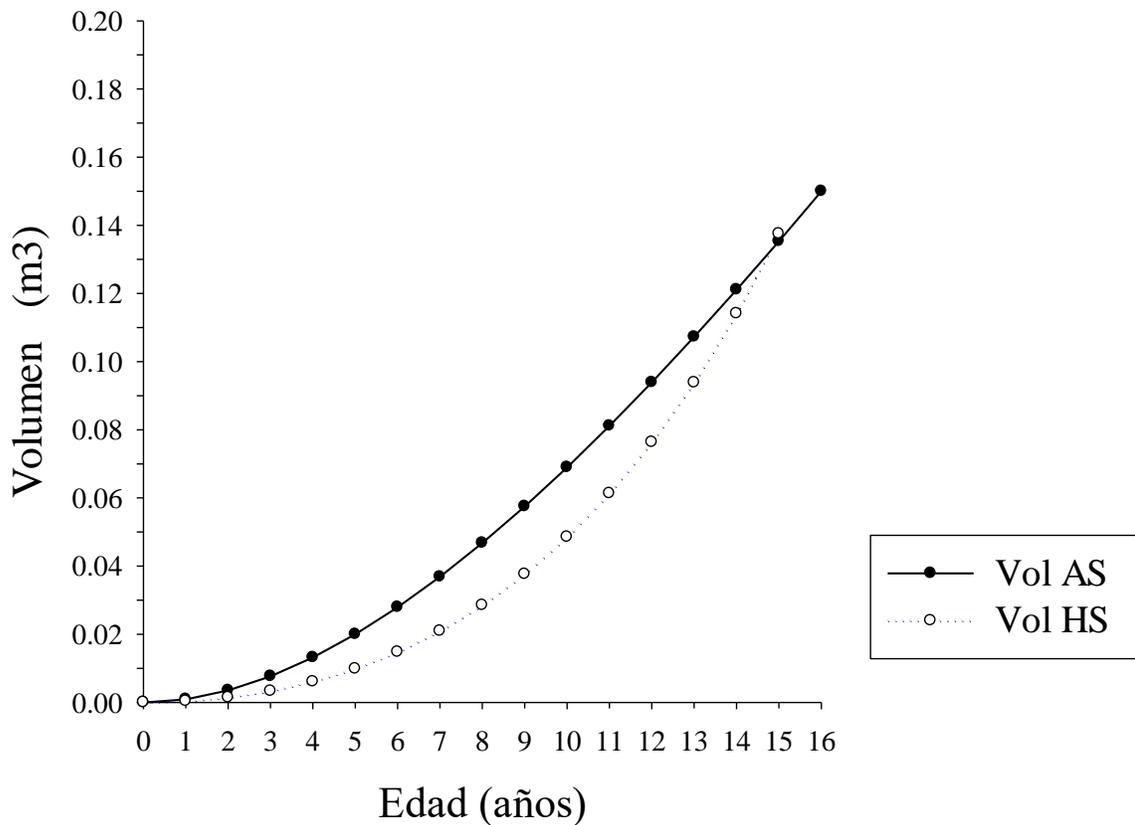


Figura 13. Curvas de crecimiento en volumen (m^3) de la procedencia AS y procedencia HS. (Vol AS= Volumen área semillera, Vol HS= Volumen huerto semillero).

4.4. Comparación de incrementos medios anuales

Comparando los incrementos medios anuales entre las procedencias en estudio, se observó que, para la variable, diámetro normal, altura, área basal (Cuadro 10) y volumen (Cuadro 11), no existen diferencias significativas. La razón puede ser a que el tamaño de muestra fue muy pequeño.

Marquéz y Mendizábal (2006) en su estudio sobre la producción de una prueba de procedencia/progenie de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a los cinco años, donde el objetivo principal fue establecer diferencias en el crecimiento de estas, donde el análisis de varianza muestra diferencias significativas entre procedencias y progenies tanto para volumen como para IMA, la comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey.

Cuadro 10. Rangos y valores estadísticos de la prueba U de Mann-Whitney para los incrementos medios anuales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de dos procedencias.

Variable	Procedencia	N	Rangos		Estadísticos de prueba			
			Rango promedio	Suma de rangos	U de Mann-Whitney	Z	Significancia asintótica (bilateral)	Significancia exacta (2*(significancia unilateral)) No corregido para empates
DN	Área semillera	17	15.26	259.5	106.5	-1.116	0.264	0.292
	Huerto semillero	16	18.84	301.5				
	Total	33						
H	Área semillera	17	18.21	309.5	115.5	-0.739	0.460	0.465
	Huerto semillero	16	15.72	251.5				
	Total	33						
AB	Área semillera	17	17.79	302.5	122.5	-0.486	0.627	0.631
	Huerto semillero	16	16.16	258.5				
	Total	33						

N= sitios de muestreo, Z = valor estadístico de la curva normal, Significancia asintótica (bilateral) = P-valor con una fiabilidad del 95%, Significación exacta (2*(significancia unilateral)) = valor de una cola.

Cuadro 11. Valores estadísticos de la prueba t de student para el incremento medio anual de volumen en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de dos procedencias

estadísticos de prueba	Área semillera	Huerto semillero
Media	0.005413642	0.003756955
Varianza	0.00000866	0.00000832
Observaciones	17	16
Varianza agrupada	8.49195E-06	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	31	
Estadístico t	1.632165168	
P(T<=t) dos colas	0.112763159	
Valor crítico de t (dos colas)	2.039513446	

Mendizábal *et al.*, (2011) evaluaron una plantación a los 15 años de ser establecida, realizando un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* var *hondurensis*, las cinco procedencias evaluadas son de Honduras. Los resultados encontrados en la variable altura, la procedencia Los Limones fue la que presentan los árboles más altos y la mayor variación, se encontraron árboles desde 2 m de altura hasta los 10 m con un promedio de 5.17 m. Respecto al diámetro normal, el promedio general fue de 11.20 cm y varió entre los 2 cm y 19 cm, pero la mayoría de los árboles evaluados tiene entre 8 y 14 cm, para este caso la procedencia Araslaya fue la que tuvo el mayor promedio, mientras que Guanaja tuvo la mayor variación de diámetro. En cuanto al análisis de varianza, hubo diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre las familias dentro de las precedencias y entre procedencias.

Espinoza y Rodríguez (2010) llevaron a cabo una evaluación del incremento y productividad de cinco rodales en una plantación de *Pinus oocarpa* Schiede y *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, la evaluación realizada fue en dos periodos diferentes en la que el análisis de varianza fue el de (ANDEVA) y la separación de medias por pruebas de rangos múltiples de

Duncan ($\alpha=0.05$), en lo cual para la variable diámetro las mediciones de dichos periodos a nivel de todos los rodales y entre rodales el crecimiento fue significativo ($f= 9.84, P \leq 0.0018$) y ($f= 37.23, P \leq 0.0001$), donde hubo mayor significancia fue a nivel de parcelas. Para la variable altura, el crecimiento a nivel de todos los rodales, a nivel rodal y a nivel de parcelas fue significativo, con un ($P \leq 0.0001$) en los tres. En cuanto al incremento corriente anual, para las variables diámetro, altura y volumen se determinó que entre parcelas el incremento no es significativo, a nivel rodal las diferencias estadísticas fueron significativas.

El incremento medio anual del diámetro en las parcelas el máximo IMA fue de 1.85 cm/año mientras que a nivel rodal fue de 1.73 y 1.52 cm/año, en altura el máximo IMA fue de 1.34 m/año, seguido con 1.28 m/año y en volumen fue de 0.022 m³/año entre parcelas, y a nivel rodal el máximo IMA fue de 0.019 y 0.016 m³/año.

Cabe mencionar que el autor argumenta que las diferencias de incrementos entre todas las parcelas y rodales puede deberse a que unos se encuentran en sitios más favorables que otros. Así mismo, la procedencia de las semillas pudo influir en la adaptación y crecimiento de los árboles en el sitio de plantación.

García-Quintana *et al.*, (2007) llevaron a cabo un ensayo de procedencias de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, en alturas de Pizarras, Viñales, Pinar del Río, Cuba, el cual se evaluaron nueve procedencias, donde el análisis de varianza arrojó que si hay diferencias significativas para las variables altura, diámetro y ramificación.

5. CONCLUSIÓN

De los modelos utilizados para estimar el crecimiento se ajustaron y fueron altamente significativos por lo tanto la hipótesis nula planteada se rechaza, por ende, la hipótesis alternativa se acepta.

El comportamiento de las curvas de crecimiento en diámetro normal, altura y área basal para la procedencia del área semillera es de forma sigmoideal, el cual las curvas de incrementos ICA e IMA definen un turno absoluto, mientras que en volumen el comportamiento de dicha curva es exponencial (forma de J), indicando que se encuentra en crecimiento por ende en las curvas de incrementos no se encontró un turno absoluto, lo mismo sucede para las variables altura y área basal para la procedencia del huerto semillero. En el crecimiento en diámetro normal del huerto semillero la curva tiende a ser de forma lineal.

En la comparación de medias de U de Manny-Whitney y t-student, no se encontró diferencias significativas en los incrementos medios anuales de diámetro, altura, área basal y volumen entre las dos procedencias, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

6. RECOMENDACIONES

Seguir evaluando la plantación en años posteriores para poder diferenciar el crecimiento de las dos procedencias mediante el comportamiento de las curvas de crecimiento, además de que en México no se registran estudios sobre el crecimiento e incrementos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

El mantenimiento del control de cada árbol por sitio permanente de muestreo debe ser continuo para favorecer la calidad en la toma de datos.

Respecto a las muestras de rodajas para análisis troncales se recomienda que se sometan a secado al aire libre de inmediato para evitar el desarrollo de hongos, ya que estos limitan visualizar con facilidad los anillos de crecimiento.

7. LITERATURA CITADA

- Alder, D. (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. 22(2) FAO, Roma. 80 p.
- Arreortua, G. C. (2002). Evaluación del comportamiento de la regeneración de *Pinus Patula* Schl et Cham, en masas forestales de Calpulalpan de Méndez, Ixtlán, Oaxaca. Memoria de Residencia Profesional. Oaxaca. 118 p.
- Arteaga M, B. (2003). Evaluación dasométrica de una plantación de *Pinus spp.* en Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(1),27-32. [fecha de Consulta 1 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750105>
- Barrera, J. M., Madrid, L., & Hernández, K. (2021). *La producción forestal en México a lo largo del tiempo: Avances y Retrocesos*. Nota informativa. 48 p. Disponible en: https://www.ccmss.org.mx/wpcontent/uploads/2021_10_ProduccionForestal_final.f
- Barrero-Medel, H., Álvarez D., Garcia-Corona, I., & Torrens, Y. A. (2010). Modelación del crecimiento del *Pinus caribaea* var. *caribaea* Barret y Golfari en la EFI macurijes. SINFOR 10. Universidad Pinar del Río. Pinar del Río Cuba. 197-804 p.
- Barrero-Medel, H., Mothe, F., Nepveu, G., Álvarez-Lazo, D., García-Corona, I., & Guera, M. (2011b). Curvas anamórficas de índice de sitio para plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari de la empresa forestal integral macurije (EFI) en la provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 245-252. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.06.035>
- Barrero-Medel, H., Peraza E, O., Álvarez L, D. & Guera M. (2011a). Determinación del Turno de Corta para *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal Integral “Macurije”. Universidad de Pinar del Río, Cuba, Departamento Forestal. *Floresta e Ambiente*.18(1),109-116.

- Benítez L, H. (2003). Regeneración natural de *Pinus caribaea* var. *caribaea* mediante tala rasas en fajas alteradas. Tesis optativa del grado científico doctor en ciencias forestales. Universidad de Alicante (España), Universidad del Pinar del Rio (Cuba). 208 p.
- Boaglio , L., Dimitroff, M., González, A., Ingaramo, R., Luczywo, N., Nepote, V., . . . Zanazzi, J. (2020). *probabilidad y estadística.Guía de Estudio 2020*. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales universidad nacional de córdoba.
- Caballero-Cruz, P., & Treviño-Garza, E.J. (2018). Análisis de la pertinencia de las plantaciones forestales en Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 400-414. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.252>
- Cailliez, F. (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. 22(1). FAO, Roma.92 p.
- Cancino, J. (2006). *Dendrometría básica*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción. 163 p.
- Carmean, W. H. 1972. Site index curves for upland oaks in Central States. *Forest Science*, 18(2), 109-120.
- Carrillo, E. G. (2008). Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales. División de Ciencias Forestales. U.A.Ch. Chapingo Edo. de México. 172 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2016). Situación actual del germoplasma utilizado en los programas de plantaciones forestales comerciales en el sureste de México. Diagnostico. 125 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (Sfa). Situación actual y perspectiva de las plantaciones forestales comerciales en México. CONAFOR. 472 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (Sfb). Programa de desarrollo de plantaciones Forestales Comerciales 15 años de su creación. CONAFOR. 198 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). La producción de resina en México. CONAFOR. 93 p.
- Corder, G. W., & Foreman, D. I. (2014). *Nonparametric statistics: A step-by-step approach*. Second edition. Hoboken, New Jersey: Wiley. 288 p.

- Cordero, J., Mesén, F., Montero, M., Stewar, J., Boshier, D., Chamberlain, J., . . . Detlefsen, G. (2003). Descripciones de especies de árboles nativos de América Central. En *Árboles de Centroamérica, un manual para extensionistas*. CATIE. pp 761-765.
- Corral R, S., & Návar C. J. (2005). Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques*, 11(1), 29-47. <https://doi.org/10.21829/myb.2005.1111260>
- Corral-Rivas, J.J., Vargas-Larreta., B., Wehenkel, C., Aguirre-Calderón., O.A., & Crecente-Campo., F. (2013). Guía para el Establecimiento, Seguimiento y Evaluación de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Productivos Forestales. 83 p.
- Cortés-Martínez, Jaime Petronilo. (2010). Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Buena Vista, Saltillo, Coahuila. 59 p.
- Cortés-Pérez, F., Dueñas-Gómez, H., & Cardozo, H. (2005). Cambios en la vegetación de sabana ocasionados por la plantación de *Pinus caribaea* en Vichada-Colombia. *Revista Académica Colombia Ciencia*. 29(110), 69-84.
- Cruz-Jiménez, H., Alba-Landa, J., Mendizábal-Hernández, L.C., Ramírez-García, E.O., & Márquez-Ramírez, J. (2011). Conservación de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf. a partir de una prueba genética. *Foresta Veracruzana*, 13(2), 43-48. [fecha de Consulta 27 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49721457007>
- Diario oficial de la federación (DOF). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.78 p.
- Espinoza S, N.M., & Rodríguez M, M.C. (2010). Evaluación del incremento y productividad en plantaciones de *Pinus oocarpa* Schiede y *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*, en la finca San Nicolás, Municipio de San Fernando, Nueva Segovia, Nicaragua. Trabajo de graduación. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. 23 p.

- Estudio Regional Forestal (UMAFOR) (2014). Estudio regional forestal unidad de manejo forestal bajo Mixe. 486 p. https://file:///D:/BIBLIOGRAFIA/1099ERF_UMAFOR_2014%20area%20semillera.pdf
- Francis, J. K. (1992). *Pinus caribaea* Morelet. *Pinus caribaea* Morelet. Caribbean pine. SO-ITF-SM-53. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. pp 394- 403.
- Galeote R, M.A., Valencia M, S. y & Benítez T, R. (1993). Establecimiento de un área semillera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr y Golf. En la plantación de la Sabana, Oax. Fábricas de Papel Tuxtepec, S.A. Nota técnica No.3, Tuxtepec, Oax. 9 p.
- García M, B. C. (2008). Características de sitio que determinan el crecimiento y la productividad de pino caribe (*Pinus caribaea* Morelet), en plantaciones de 2 a 7 años, establecidas dentro del programa de incentivos forestales en diferentes regiones de Guatemala. Trabajo de graduación de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de agronomía. Guatemala, Guatemala. 152 p.
- García P, J.F., Frías N, M.D., & Pascual L, J. (2000). Prueba de aleatorización vs. distribución F cuando la escala de medida de la variable dependiente es discreta y el diseño experimental. *Psicothema*, 12(Su2), 253-256. [Recuperado el 3 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72797060>
- García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Autónoma Nacional de México. México, D.F. 217 p.
- García, M. del C., M., Castellana, N., Rapelli, C., Koegel, L., & Catalano, M. (2014). Criterios de información y predictivos para la selección de un modelo lineal mixto. *SaberEs*, 6(2), 61–76. Recuperado en 05 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852422220140002002&lng=es&tlng=es.
- García-Quintana, Y., Álvarez-Brito, A. & Guízar-Nolasco, E. (2007). Ensayo de procedencias de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en alturas de pizarras, viñales, Pinar del Río, Cuba. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(2),

- 125-129. [fecha de Consulta 29 de mayo de 2022]. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913205>
- Gómez R, M., Soto-Correa., J.C., Blanco-García., J.A., Sáenz-Romero., C., Villegas, J y Lindig-Cisneros., R. (2012). Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. Morelia, Michoacán, México. *Agrociencia* 46:795-807.
- Hernández, F. J., Bretado, M, B.M., Marqués, B, E., Nájera, L, J.A. & Vargas, L, B. (2021). Estimación del crecimiento de dos especies de *Pinus* de la Región Centro de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 12 (68), 31-57.
- INEGI. (1984). Carta de uso de suelo y vegetación. Puerto Escondido. D14-3. Escala 1:250,000. Oaxaca, México.
- INEGI. (1995). San Pedro Pochutla, Estado de Oaxaca. Cuaderno estadístico municipal. INEGI. Aguascalientes, Ags. 127 p.
- INEGI. (2000). Carta topográfica. San José Chacalapa. D14-B18. Escala 1:50,000. Oaxaca, México.
- INEGI. (2004). Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. INEGI. Aguascalientes, Ags. 33 p.
- INEGI. (2005). Guía para la interpretación de cartografía. Climatología. INEGI. Aguascalientes, Ags. 48 p.
- INEGI. (2005). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pedro Pochutla, Oaxaca. Clave geoestadística 20324.
- INEGI. (2020). México en cifras: San Pedro Pochutla, Oaxaca (20324). Recuperado el 15 de marzo del 2022, de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=20324>
- Instituto Nacional de Bosques. (2017). Pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari). Paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB. 37 p.
- Jayaraman, K. (1999). A statistical manual for forestry research. Forestry research support programme for Asia and the pacific. Kerala forest research institute peechi, thrissur, Kerala, India
- Juárez F, Y. (2014). *Dasometría*. Apuntes de clases y guías de actividades prácticas. 89 p.

- Klepac, D. (1983). *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. 2ª Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. 365 p.
- López A, A.M., Barrios T, A., Ortega, A., Nieto, V.M., Gasca, G., y Salamanca, M. (2007). Empleo de un modelo de crecimiento y rendimiento para la determinación de la edad óptima de rotación de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* creciendo en la región oriental de Colombia. *Colombia Forestal*, 10(20), 119-126. [fecha de Consulta 15 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939610006>
- Madrigal-Chavero, R. J. (2021). Evaluaciones de Plantaciones Forestales comerciales (PFC). Red de Ecoetología, Instituto de Ecología A.C. (INECOL). Disponible en: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/1512-evaluaciones-de-plantaciones-forestales-comerciales>
- Márquez R, J. & Mendizábal H, L.C. (2006). Producción de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf. a los cinco años. *Foresta Veracruzana*, 8(2), 13-18. [fecha de Consulta 29 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49780203>
- Márquez R, J., Alba L, J., Cruz J, H., Ramírez G, E.O., Mendizábal H, L.C. (2011). Conservación de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf. a partir de una prueba genética. *Foresta Veracruzana*, 13(2), 43-48. [fecha de Consulta 29 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49721457007>
- Mejía-Bojórquez, J.M., García-Rodríguez, J.L., & Muñoz-Flores., H.J. (2015). Evaluación de plantaciones de cuatro especies forestales en el estado de Durango. *Revista de divulgación científica*, (2), 1-20. http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Evaluacion_plantaciones_cuatro_especies_forestales_Durango.html
- Molina A, M., Ochoa S, C. & Ortega P, E. (2020). Comparación de dos medias. Pruebas de la t de Student. *Evid Pediatría*, 16:51, 1-7.
- Montero M. M. & Fierros C, A. M. (2000). Predicción del crecimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret y Golfari en “La Sabana”, Oaxaca, México. *Revista Forestal Centroamericana*, (32), 20-25.

- Montero M., M. (1992). Modelo de crecimiento para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en La Sabana, Oaxaca, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. 95 p.
- Montilla. J.M. (2010). Relevance of statistical tests: t and f, to compare means for independent samples. 9(18), 4-14.
- Morales G, E.R. (2001). Evaluación del crecimiento en pino Caribe (*Pinus caribaea*), en plantaciones jóvenes en El Llano, Zamorano, Honduras. Tesis profesional de licenciatura. Carrera de desarrollo socioeconómico y ambiente. Honduras. 12 p.
- Morales H, J. (1997). Programa de manejo forestal de las plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla y Candelaria Loxicha, Oaxaca. Agrosilvícola San José S.P.R. de R.L. 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
- Muñoz-Flores, H.J., Garcia-Magaña, J.J., Hernández-Zaragoza, P., Barrera-Ramírez, R. & Hernández-Zaragoza, O. (2015). Comparación del crecimiento de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus patula* Schl. et Cham. En plantaciones comerciales establecidas en Hueyapan, Puebla. *Foresta veracruzana*, 17(1), 1-8. [fecha de consulta 21 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49742125001>
- Musálem, M.A. (2006). *Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales*. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Departamento de Ecología y Silvicultura. Programa de Postrado. 217 p.
- Newberry, J. D. 1991. A note on Carmean's estimate of height from stem analysis data. *Forest Science*, 37(1), 368-369. Doi:10.1093/forestscience/37.1.368.
- Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. Departamento de Economía Cuantitativa. Universidad Complutense. 116 p. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis de Regresion.pdf>
- Olea, S. F. (2016). Técnicas estadísticas aplicadas en nutrición y salud. Departamento de nutrición y bromatología. UGR. 35 p.
- Prado D, J. (2015). Plantaciones forestales. Más allá de los árboles. Santiago, Chile 172. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G.

- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura Forestal*. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 561 p. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/15038>
- Rivas-Ruiz, R., Moreno-Palacios, J. & O. Talavera, J. (2013). Investigación clínica XVI diferencias de medianas con la U de Mann-Whitney. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 51(4),414-9.
- Rojas F. & Ortiz, E. (1991). *Pino caribe (Pinus caribaea Morelet var. hondurensis (Barret y Golfari) árbol de usos múltiple en América central*. Serie técnica. Informe técnico /CATIE; no. 175. Colección de guías silviculturales. 78 p.
- Rojo-Martínez, G.E., Jasso-Mata, J., Zazueta-Angulo, X., Porrás-Andujo, C.R. & Velázquez-Martínez, A. (2005). Modelos de índice de sitio para *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. del clon IAN-710 en el norte de Chiapas. *Ra Ximhai*, 1(1),153-166. [fecha de Consulta 1 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46110110>
- Romahn de la Vega, C.F., Ramírez M, H. (2010). *Dendrometría*. Universidad Autónoma de Chapingo. División de ciencias forestales. Chapingo, estado de México. 292 p.
- Santiago G, Wenceslao., Ángeles P, G., Quiñonez B, G., De los Santos P., H.M & Rodríguez O, G. (2020). Avances y perspectivas en la modelación aplicada a la planeación forestal en México. *Madera y Bosques*. 26(2), 1-17.
- Sosa C, V.E. (2008). Programa Estratégico Forestal del estado de Oaxaca (PEFO) 2007-2030. Consultoría forestal. 253 p.
- Sosa-Antuna, Miguel Ángel. (2001). Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl. y Cham. En rodales localizados al sureste de Coahuila y sur de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 75 p.
- Suárez S, J.T., Bravo I. J.A., Peña H. Y., Montalvo G, J.M., Valle L, M. & Valdés R, R. (2013). Modelación matemática del volumen por hectárea de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en la unidad silvícola “Los Jazmines”, Viñales. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 1 (2), 1-7.

- Torres A, D., Santos P, H.M de los., Velázquez M, A. & Tamarit U, J.C. (2020). Ahusamiento y volumen comercial de tres procedencias de pinos tropicales en plantaciones forestales de Veracruz, México. *Madera y bosques*, 26(3), 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2631890>
- Torres R, J. M., & Magaña, O. S. (2001). Evaluación de Plantaciones Forestales. Limusa Noriega Editores. México, D. F. 472 p.
- Valdez-Lazalde, J.R. & Lynch, T.B. (2000). Merchantable and total volume equations for thinned natural stands of patula pine. *Agrociencia*, 34(6), 747–758.
- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International. Dinamarca. 312 p.
- Vásquez-García, I., Cetina-Alcalá, V.M., Campos-Bolaños, R & Casal-Ángeles, L.F. (2016). Evaluación de plantaciones forestales en tres comunidades de la mixteca alta oaxaqueña. *Agroproductividad*, 9(2), 12-19.

8. ANEXOS

Anexo 1. Proceso del derribo y extracción de rodajas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para análisis troncales, en la plantación establecida en el predio privado “El Carnizuelo”, San José Chacalapa, Pochutla Oaxaca.



Derribo direccional



Medición de la altura del árbol



Troceo y seccionado



Conteo y numeración de rodajas

Anexo 2. Proceso de lijado y conteo de anillos de las rodajas. Laboratorio: Almacén de muestras, Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila.





Anexo 3. Rodaja de la procedencia de huerto semillero, establecidos en la propiedad privada “El Carnizuelo” San José, Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Rodaja perteneciente al rodal dos, sitio tres, árbol dos, (GR₂S₃A₂). Edad 11 años, altura total 9.20 m.



Anexo 4. Rodaja de la procedencia de área semillera, establecidos en “El Carnizuelo” San José, Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Rodaja perteneciente al rodal dos, sitio cuatro, árbol uno, (SR₂S₄A₁). Edad 14 años, altura total 14.05 m.

Anexo 5. Prueba de varianza de los incrementos medios anuales de ambas procedencias, área semillera y huerto semillero.

Prueba de varianza: F de Snedecor			Prueba de varianza: F de Snedecor		
Incremento medio anual en diámetro normal			Incremento medio anual en altura		
	Área semillera	Huerto semillero		Área semillera	Huerto semillero
Media	0.987	1.092	Media	0.884	0.869
Varianza	0.127	0.085	Varianza	0.069	0.061
Observaciones	17	16	Observaciones	17	16
Grados de libertad	16	15	Grados de libertad	16	15
F	1.497		F	1.127	
P(F<=f) una cola	0.220		P(F<=f) una cola	0.411	
Valor crítico para F (una cola)	2.385		Valor crítico para F (una cola)	2.385	
Prueba de varianza: F de Snedecor			Prueba de varianza: F de Snedecor		
Incremento medio anual en área basal			Incremento medio anual en volumen		
	Área semillera	Huerto semillero		Área semillera	Huerto semillero
Media	0.001007566	0.00095878	Media	0.005413642	0.003756955
Varianza	0.000000113	0.000000543	Varianza	0.00000866	0.00000832
Observaciones	17	16	Observaciones	17	16
Grados de libertad	16	15	Grados de libertad	16	15
F	0.207		F	1.041	
P(F<=f) una cola	0.002		P(F<=f) una cola	0.471	
Valor crítico para F (una cola)	0.425		Valor crítico para F (una cola)	2.385	

F= F de Snedecor

Ho= No existe una diferencia significativa, por lo tanto, las varianzas son iguales

Hi= Existe una diferencia significativa, por lo tanto, las varianzas **no** son iguales

Sí $F < 0.05$ se acepta Ho

Sí $F > 0.05$ se rechaza Ho

(García *et al.*, 2000; Olea Serrano, 2016; Montilla, 2010)

Anexo 6. Prueba de normalidad de los incrementos medios anuales de ambas procedencias, área semillera y huerto semillero.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk				Prueba de normalidad Shapiro Wilk			
Incremento medio anual en diámetro normal				Incremento medio anual en altura			
Procedencia	Estadístico	gl	Sig.	Procedencia	Estadístico	gl	Sig.
Área semillera	0.836	17	0.006	Área semillera	0.671	17	0.000
Huerto semillero	0.273	16	0.000	Huerto semillero	0.583	16	0.000
Prueba de normalidad Shapiro Wilk				Prueba de normalidad Shapiro Wilk			
Incremento medio anual en área basal				Incremento medio anual en volumen			
Procedencia	Estadístico	gl	Sig.	Procedencia	Estadístico	gl	Sig.
Área semillera	0.656	17	0.000	Área semillera	0.949	17	0.439
Huerto semillero	0.945	16	0.413	Huerto semillero	0.945	16	0.417

gl= Grados de libertad

Sig.= Significancia

Ho= No existe una diferencia significativa, por lo tanto, los datos provienen de una distribución normal

Hi= Existe una diferencia significativa, por lo tanto, los datos **no** provienen de una distribución normal

Sí $P < 0.05$ se acepta Ho

Sí $P > 0.05$ se rechaza Ho

(Novales, 2010).