

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento e Incremento de Árboles de Seis Poblaciones de
Pinus johannis M. -F. Robert, en el Noreste de México

Por:

SAÚL ALEJANDRO SALMERÓN BRAVO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento e Incremento de Árboles de Seis Poblaciones de

Pinus johannis M. -F. Robert, en el Noreste de México

Por:

SAÚL ALEJANDRO SALMERÓN BRAVO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el comité de Asesoría

Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal

DEPARTAMENTO FORESTAL

M.C. Héctor Darío González López

Coasesor

M.C. Salvador Valencia Manzo

Coasesor

Dr. Gabriel Gallegos Morelos

Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación

Saltillo, Coahuila, México

División de Agronomía

Diciembre, 2015

Esta tesis fue apoyada por el proyecto de investigación “Aproximación molecular para la evaluación genética de áreas productoras de semillas y de conservación en especies del género *Pinus*” Clave 176167, aprobado por el fondo sectorial CONAFOR-CONACYT 2012.

También esta tesis fue apoyada por el proyecto de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38.111.3613.2122, cuyo responsable es el Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mi Madre:

Idolina Bravo Matías

Quien me ha dado su apoyo incondicional, cuidados y ejemplo de fortaleza en los momentos más difíciles, por ser una de las razones que me alentó a seguir adelante y darme la oportunidad de llegar a desarrollarme profesionalmente. Gracias por tu amor, comprensión y confianza, te amo Madre.

A mi Hermana:

Karina Salmerón Bravo

Por tu apoyo sin escatimar en nada, tu preocupación, tu amistad y cariño, por tus consejos y las llamadas de atención que de alguna u otra manera me sirvieron para el desarrollo de mi persona y carrera. Sobre todo gracias por estar ahí en los momentos más difíciles de nuestras vidas, por no dejarme solo, por darme ánimos para poder alcanzar esta meta tan importante y por formar parte fundamental en mi vida.

A mis Abuelos:

Saúl Bravo Pérez y Elisa Matías Ortiz

Por todos los consejos y recomendaciones brindados, gracias por estar pendiente de mí, a ti abuelita por ser como mi segunda madre, gracias por tu cariño, amor y los valores que nos inculcas al ser tan bondadosa, gracias a los dos, les quiero.

A mi Familia:

Tíos, Tías, Primos y Primas.

Por el apoyo moral, la muestra de amistad, cariño y respeto. Sobre todo a, aquellas personas que también contribuyeron en la formación de mi persona y carrera al inculcarme las cosas de Dios, los buenos valores y el amor al prójimo. Los quiero Familia.

A mis Amigos:

De la generación y de otras carreras.

Por su valiosa amistad, el apoyo otorgado y por todos aquellos momentos gratos y maravillosos que compartimos juntos. Por formar parte de mi vida y estar ahí de alguna u otra forma, por convertir de esta travesía una bonita experiencia y hacer más ligero el equipaje en este hermoso viaje. Y una disculpa por omitir nombres pero sé que está demás el mencionarlos. Muchas gracias y que Dios siempre les bendiga y acompañe en todo momento.

“Podemos hacer nuestros planes,
pero solo Dios determina
nuestros pasos”
Proverbios 16:9

AGRADECIMIENTO

A Dios, por iluminar y guiar mi vida a cada momento, por darme el valor y las fuerzas necesarias para enfrentar cualquier obstáculo, por todas las bendiciones que me has otorgado, por cuidarme y respaldarme. Gracias por permitirme estar aquí, por las pruebas que me hacen crecer como persona y ser humano y me permiten dar lo mejor de mí, por poner en mi camino a las personas que me has permitido conocer, por todo esto y más. Porque sé que tus planes siempre serán mucho mejores que los míos.

A mi “*ALMA MATER*” por haber permitido mi estadía durante todo el tiempo de mi carrera y brindarme todas las facilidades para mi formación profesional.

A los Profesores del Departamento Forestal que de alguna u otra manera contribuyeron a mi formación profesional. Gracias por la paciencia, las enseñanzas y la amistad brindada.

A los alumnos del servicio social y compañeros de generación por su valiosa contribución a este estudio, mediante la colaboración en campo y laboratorio para la recolecta y evaluación de virutas utilizadas en el presente trabajo.

A mis amigos y compañeros de la generación CXIX de la carrera Ingeniero Forestal y de otras carreras por brindarme su valiosa amistad y apoyo en todo momento, gracias por compartir bellos momentos y depositar su confianza en mí.

Y por todos aquellos que omití sin tener el deseo alguno de hacerlo, gracias por todo el apoyo brindado durante mi estancia en la Universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	4
1.1.1 Objetivos Específicos.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Pinos piñoneros.....	5
2.1.1 Características taxonomicas generales de los pinos piñoneros.	5
2.2 <i>Pinus johannis</i>	6
2.2.1 Descripción.	6
2.2.2 Ecología.	6
2.2.3 Distribución.	8
2.2.4 Problematica.	9
2.3 Crecimiento en pinos piñoneros.	10
2.3.1 Técnicas de evaluación de crecimiento.....	11
2.3.1.1 Taladro de Pressler.....	11
2.3.1.2 Análisis Troncal.....	12
2.4 Modelos de crecimiento.....	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Descripción de las áreas de estudio de <i>Pinus johannis</i>	16
3.1.1 Descripción general de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	17
3.1.2 Aspectos físicos	18
3.2 Muestreo, vaiables evaluadas y obtención de virutas de crecimiento	20
3.3 Evaluación de virutas de crecimiento	20
3.4 Análisis de crecimiento del <i>Pinus johannis</i>	21

3.4.1	Modelos de crecimiento	21
3.4.2	Comparación y selección de modelos	22
3.4.3	Cálculo de los incrementos de cada población de <i>Pinus johannis</i>	22
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1	Modelos.....	24
4.2	Crecimiento e incremento de acuerdo a cada variable de estudio para las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	25
4.2.1	Altura	25
4.2.2	Diámetro basal (0.30 m)	31
4.2.3	Diámetro de Copa.....	37
4.3	Comparación de curvas de crecimiento entre géneros para las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	43
5	CONCLUSIONES	46
6	RECOMENDACIONES.....	47
7	LITERATURA CITADA.....	48
8	APÉNDICE.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Algunos estudios de crecimiento de especies del género <i>Pinus</i> en México	14
2 Modelos más empleados para el crecimiento forestal.....	15
3 Localización de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	17
4 Aspectos físicos de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	19
5 Número de árboles evaluados por cada población y el total de las seis poblaciones del <i>Pinus johannis</i>	21
6 Modelos de crecimiento para la representación del crecimiento en altura, diámetro normal y diámetro de copa de <i>Pinus johannis</i>	22
7 Mejor modelo para cada variable de estudio y población de <i>Pinus johannis</i>	24
8 Estudios sobre el uso de modelos de crecimiento en altura y diámetro del género <i>Pinus</i>	25
9 Valores de las cantidades de hembras y machos que existen en cada población de <i>Pinus johannis</i>	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización geográfica de las áreas de estudio de <i>Pinus johannis</i>	16
2	Curvas ajustadas de la relación edad-altura de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	27
3	Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable altura de la población San Antonio de la Osamenta de <i>Pinus johannis</i> , con el modelo de crecimiento Schumacher.....	29
4	Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable altura de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	30
5	Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable altura de la población Concepción del Oro de <i>Pinus johannis</i> , con el modelo de crecimiento Schumacher.....	31
6	Curvas ajustadas de la relación edad-diámetro basal de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	33
7	Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro basal de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	36
8	Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro basal de la población San Antonio de la Osamenta de <i>Pinus johannis</i> , con el modelo de crecimiento Schumacher.....	37
9	Curvas ajustadas de la relación edad-diámetro de copa de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	39
10	Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro de copa de la población San Antonio de la Osamenta de <i>Pinus johannis</i> , con el modelo de crecimiento Schumacher.....	41

11	Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro de copa de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	42
12	Comparación de curvas ajustadas con respecto a las variables de estudio para los sexos masculino y femenino de las seis poblaciones de <i>Pinus johannis</i>	45

RESUMEN

Pinus johannis es una especie que se encuentra en la categoría de protección especial en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Son escasos los estudios ecológicos y en especial el conocimiento del crecimiento de esta especie, por esta razón el propósito de este estudio fue analizar el crecimiento e incremento en altura, diámetro basal y diámetro de copa de seis poblaciones naturales de *Pinus johannis*.

En las poblaciones Siberia, Mesa de las Tablas, Mesa del Rosario, San Antonio de la Osamenta, Laguna de Sánchez y Concepción del Oro, se seleccionaron respectivamente 20, 24, 23, 29,28 y 29 árboles de diferentes categorías diamétricas. De cada árbol se obtuvo un cilindro de madera (viruta) utilizando el taladro de Pressler y se evaluaron los anillos de crecimiento. Se utilizaron los tres modelos de crecimiento que más se utilizan, se seleccionó el modelo que presentó mejores ajustes para cada variable en cada población y el mejor modelo entre poblaciones. El ajuste de los modelos se efectuó con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) V. 9.0 mediante el procedimiento PROC NLIN. Los criterios estadísticos para la selección del mejor modelo fueron los mayores valores en el coeficiente de determinación (R^2) y en el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y el menor valor del cuadrado medio del error (CME). De las curvas ajustadas se derivó el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA).

El modelo Schumacher resultó ser el mejor para las variables altura, diámetro basal y diámetro de copa. La comparación de las curvas ajustadas de crecimiento en altura, diámetro basal y diámetro de copa entre sexos de las seis poblaciones de *P. johannis* señala que los individuos masculinos presentan mayor crecimiento.

Palabras claves: *Pinus johannis*, crecimiento, incremento, taladro de Pressler.

Correo electrónico; Saúl Alejandro Salmerón Bravo, saul.salbra@hotmail.com

ABSTRACT

Pinus johannis is a species that finds in the category of special protection in the Mexican Official Norm NOM-059-SEMARNAT-2010. They are scarce the ecological studies and especially the knowledge of the growth of this species, for this reason the purpose of this study was to analyze the growth and increase in height, basal diameter and diameter of cup of six natural populations of *Pinus johannis*.

In the populations Siberia, Mesa de las Tablas, Mesa del Rosario, San Antonio de la Osamenta, Laguna de Sánchez and Concepcion del Oro, selected respectively 20, 24, 23, 29, 28 and 29 trees of different diameter categories. Of each tree obtained a wooden cylinder (shaving) using the auger of Pressler and evaluated the rings of growth. They were used the three best models of growth that more used, they was selected the model that presented better adjustments for each variable in each population and the best model among populations. The adjust of the models effected with the statistical package Statistical Analysis System (SAS) V. 9.0 by means of the procedure PROC NLIN. The statistical criteria for the selection of the best model were the greatest values in the coefficient of determination (R^2) and the adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) and the lower value of the square half of the error (CME). Of the curves adjusted derived from the current annual increment (ICA) and the mean annual increment (IMA).

Schumacher proved to be the best model for the variables height, basal diameter and crown diameter. Comparing the growth curves adjusted in height, basal diameter, and crown diameter between sexes of the six populations of *P. johannis* indicates that male individuals have higher growth.

Key Words: *Pinus johannis*, growth, increase, auger of Pressler.

1 INTRODUCCIÓN

Los pinos piñoneros o simplemente piñoneros de México, se caracterizan por tener semillas sin ala, de 10 a 26 mm de largo y testa más o menos gruesa, prácticamente todas las especies son comestibles en mayor o menor grado. Los piñoneros son árboles de bajo porte normalmente de 2 a 10 m de altura, que habitan zonas marginales de baja precipitación, comúnmente de 300 a 600 mm de lluvia, aunque algunos se distribuyen en lugares por encima de los 1000 mm de precipitación anual (Eguiluz, 1982 y 1987).

Las poblaciones están distribuidas en los estados del norte y centro de nuestro país. Se encuentran desde Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, hasta Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Veracruz (Eguiluz 1987; Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997).

El grupo de piñoneros está conformado por *Pinus cembroides* Zucc., *P. culminicola* Andresen *et* Beaman, *P. maximartinezii* Rzed., *P. monophylla* Torr.*et* Frém., *P. nelsonii* Shaw, *P. pinceana* Gordon, *P. quadrifolia* Parl. *ex* Sudw. y *P. remota* (Little) D. K. Bailey *et* Hawksw. Con un criterio más amplio, considera como parte de este conjunto también a las siguientes especies: *P. catarinae* Rob.-Pass., *P. discolor* D. K. Bailey *et* Hawksw., *P. edulis* Engelm., *P. johannis* Rob.-Pass., *P. juarezensis* Lanner y *P. lagunae* Passini. (Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997).

Los piñoneros han sido parte del desarrollo de grupos humanos, en la parte norte del país, eran uno de los recursos que servían para determinar las rutas migratorias de los pueblos nómadas quienes tenían en alto aprecio a la semilla de los piñoneros (Passini, 1985).

Además de obtener semillas comestibles o piñones han servido para obtener leña, postes, madera para construcción de vivienda y muebles rústicos, árboles de navidad, resina, aparte de servir de abrigo a la fauna silvestre y en algunos casos como áreas de recreo y dasonomía urbana. A pesar de todo lo que ofrecen las especies de pinos piñoneros, en la actualidad se puede reportar que las superficies de estas comunidades se han reducido notablemente en los últimos

años y varias de ellas se encuentran amenazadas o en peligro de desaparecer debido a perturbaciones antropogénicas y naturales (Caballero y Ávila, 1989).

Pinus johannis es una especie rústica que además de su interés ornamental, puede ser de mucha utilidad en la reforestación contra la erosión de suelos con poca humedad (Robert, 1978). Sus troncos y ramas se usan en construcciones rurales y como leña. Sus semillas, llamadas piñones, se recolectan para consumo humano (Robert, 1978; Perry, 1991). Los bosques formados por esta especie proveen alimento y hábitat a la fauna local; además, las copas de estos árboles proporcionan sombra a especies herbáceas y arbustivas las cuales tienen más probabilidad de sobrevivir por la mayor disponibilidad de humedad (Romero-Manzanares y García-Moya, 2002).

El *Pinus johannis* es una especie endémica y a pesar de aportar varios tipos de bienes materiales y servicios ambientales, en las poblaciones principales se ha notado que la regeneración de esta especie es media, sin embargo podrían considerarse comunidades en peligro por estar en áreas muy cercanas a poblaciones con actividades antropogénicas como la explotación de minas que se realizan en Salaverna, Mazapil, Zacatecas, la agricultura y la ganadería, a lo cual podrían sumarse los riesgos de incendios que son frecuentes en las localidades donde se desarrollan estas poblaciones (García y Passini, 1993).

Esta especie forma parte de las especies forestales que se encuentran en poblaciones aisladas y de tamaños relativamente pequeños, donde se origina una pobre producción de semillas, en la que muchas de ellas son vanas, como resultado de una autopolinización produciéndose el fenómeno de endogamia, que repercute en la reducida capacidad germinativa, el bajo vigor de plántulas y la baja tasa de crecimiento y supervivencia en campo (Mosseler, 1998).

P. johannis se encuentra en la categoría de protección especial en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Una especie sujeta a protección especial es aquella que se encuentra amenazada por factores que inciden de forma muy negativa en su viabilidad, por lo que se tiene la necesidad de propiciar su recuperación y conservación.

La mayoría de los estudios sobre crecimiento realizados en México se han realizado preferentemente en especies de importancia económica del género *Pinus*. Estos trabajos se han desarrollado principalmente para la estimación de la calidad del sitio con base en índices de sitio (Benavides y Manzanilla, 1993; Monroy, 1996) y para el análisis de crecimiento (Montero y Fierros, 1995; Romero-Gutiérrez y Ramírez-Maldonado, 1997; Aguilar, 1997).

En este trabajo se desarrolló la evaluación de anillos de crecimiento para estimar las edades de *P. johannis* de varias poblaciones. El estudio de crecimiento de los árboles ayuda a estimar el rendimiento de un bosque a una edad o periodo determinado, a optimizar tasas de crecimiento que satisfagan los objetivos de producción predefinidos, a estimar fechas y actividades de cosecha, así como planificar actividades de protección y cultivo (Torres y Magaña, 2001).

La evaluación de anillos también ayuda a elaborar tablas de producción, describiendo las características de las variables dasométricas más importantes de un rodal en función de la edad y altura para determinar la clase de calidad de estación (Klepac, 1976; Flores, 1983) y a elaborar curvas de índice de calidad de sitio (Groothusen, 1983). Estos estudios se llevan a cabo a través de la lectura de anillos, ya que la formación de los anillos anuales de crecimiento en los árboles ayuda a definir la edad de un árbol o de una comunidad forestal y también sirve para determinar la tasa de crecimiento de un árbol o un bosque en un tiempo determinado (Klepac, 1976).

Existen dos métodos ampliamente utilizados para realizar las estimaciones de crecimiento e incremento en México, el método de análisis troncal y el de taladro de Pressler (Klepac, 1976; Alder 1980).

En el método de análisis troncal el árbol debe ser derribado y de éste se toman secciones o rodajas transversales; una de ellas se toma a una altura de 20 a 30 cm con respecto al suelo, la segunda se toma a la altura del pecho (1.30 m), mientras que las demás se obtienen a una distancia de 2 ó 3 metros equidistante unas de otras (Klepac, 1976). En cambio, con el taladro de Pressler se barrena el árbol por lo general a la altura del diámetro normal para extraer muestras de

madera de forma cilíndrica que permite ver y contar los anillos anuales de crecimiento (Villanueva *et al.*, 2004).

1.1 Objetivo General

Analizar el crecimiento e incremento entre seis poblaciones y entre sexos de individuos de *Pinus johannis* del Noreste de México a través de la generación de curvas de crecimiento de edad-altura, edad-diámetro basal, y edad-diámetro de copa.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Seleccionar el mejor modelo de crecimiento para altura, diámetro basal y diámetro de copa.
- Generar curvas de crecimiento de edad-altura, edad-diámetro basal y edad-diámetro de copa.
- Generar curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para cada variable para cada población.
- Generar curvas de crecimiento entre sexos de edad-altura, edad-diámetro basal, y edad-diámetro de copa.

1.2 Hipótesis

Ho: No existe regresión en la relación edad-altura, edad-diámetro basal y edad-diámetro de copa, en las seis poblaciones de *Pinus johannis* del Noreste de México.

Ha: Si existe regresión en la relación edad-altura, edad-diámetro basal y edad-diámetro de copa, en las seis poblaciones de *Pinus johannis* del Noreste de México.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Pinos piñoneros

Los pinos son especies pioneras y que probablemente se dispersaron rápidamente sobre los suelos de origen volcánico resultado de la actividad volcánica que ocurrió en gran parte de México (Ramamoorthy *et al.*, 1993). Y entre esta variación de pinos se encuentra los grupos piñoneros, los cuales están distribuidas en los estados del norte y centro del país (Eguiluz 1987; Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997).

Los pinos piñoneros constituyen en México un grupo bien definido en su mayoría de las regiones áridas y semiáridas, representado por las especies *Pinus catarinae*, *P. cembroides*, *P. cembroides* var. *lagunae*; *P. culminicola*, *P. discolor*, *P. edulis*, *P. johannis*, *P. juarezensis*; *P. maximartinezii*, *P. monophylla*, *P. nelsonii*, *P. pinceana* y *P. quadrifolia* y *P. remota* (Eguiluz *et al.*, 1985).

2.1.1 Características taxonómicas generales de los pinos piñoneros.

Los pinos piñoneros o simplemente piñoneros de México, se caracterizan por tener semillas sin ala, de 10 a 26 mm de largo y testa más o menos gruesa, prácticamente todas las especies son comestibles en mayor o menor grado. Los piñoneros son árboles de bajo porte normalmente de 2 a 10 m de altura, que habitan zonas marginales de baja precipitación, comúnmente de 300 a 600 mm de lluvia, aunque algunos llegan a propasar por encima de los 1000 mm (Eguiluz, 1982 y 1987).

Estos piñoneros tienen gran “plasticidad” y buena adaptabilidad en hábitats diversos. Se emplean como árboles ornamentales, ya que adquieren mayor demanda por su belleza y porte pequeño. Sin embargo, algunas especies endémicas y de distribución restringida están severamente amenazadas o en peligro de extinción (Eguiluz, 1984).

2.2 *Pinus johannis*

2.2.1 Descripción

Es un árbol pequeño de 2 a 3 m de altura, rara vez alcanza los 4 m de altura, quizás más arbusto que árbol es raro encontrarlo con un sólo tronco dominante. Presenta una copa baja, densa y de forma redonda. Los árboles jóvenes presentan una corteza lisa y de color gris; y en los árboles maduros los troncos y ramas son ásperas y escamosas. Las ramas son de color gris oscuro, áspera; presenta tres acículas por fascículo, de vez en cuando 2, raramente 4; 3 a 5 cm largo, 0.9 a 1.2 mm de grosor; flexibles, tiene dos canales de la resina. Los fascículos son grises. Los conos son de forma oblonga y bastante resinosos; 3 a 4 cm largo y 2 a 3 cm de ancho cuando se abren. El pedúnculo es muy corto, 3 a 4 mm largo y cae con el cono. Conos maduros son brillantes, y de un color castaño-bronce, son caedizos; las escamas de los conos son duras, espesas, y las apófisis son gruesas y un poco levantadas, las escamas basales y apicales son muy pequeñas y estériles (Perry, 1991).

Las semillas son comestibles y de color castaño, miden aproximadamente 10 mm de ancho, presenta una testa gruesa; aproximadamente tiene 2,200 semillas por kilogramo; y generalmente tiene un promedio de 6 a 11 cotiledones, el endospermo es de color blanco. La madera va de un color pálido a un castaño amarillento y es utilizada como combustible (Perry, 1991).

Esta especie crece en poblaciones con altitudes entre 2400 y 2800 msnm, donde la precipitación promedio anual varía de 300 a 400 mm (Perry, 1991; García y Passini, 1993; Romero *et al.*, 2000), es también una especie dioica que en menor cantidad, presenta individuos monoicos dentro de una misma población, esto último es resultado que arrojó un estudio de diferencia en la expresión sexual entre el *Pinus cembroides* y el *Pinus johannis* (Whitham y Mopper, 1985).

2.2.2 Ecología

La población de *Pinus johannis* que se encuentra en el estado de Zacatecas en el camino que va de Concepción del Oro a Mazapil se desarrolla en suelos

litosoles, y en donde la precipitación media anual es de aproximadamente 300 a 400 mm, y la temperatura media anual es de 16°C. Se encuentra a una altitud de 2700 m, en estas zonas son comunes las escarchas durante los meses diciembre y enero (Perry, 1991).

La población de *Pinus johannis* localizada en el cerro El Coahuilón se encuentra sobre pendientes suaves, con una altitud media de 2720 msnm, con algunos individuos aislados hasta los 2840 msnm, cohabitando estos últimos con bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, *Quercus hypoxantha* Trel., y *Q. greggii* Liebm., de suelos profundos. La altitud mínima de *Pinus johannis* en esta localidad es de 2550 msnm, en esta altitud la comunidad está constituida por un matorral de *Agave* sp, *Arctostaphylos* sp, *Ceanothus* sp, *Dasyllirion* sp, *Yucca* sp, en presencia de algunas herbáceas: *Eupatorium* sp, *Penstemon* sp, y *Salvia* sp. El suelo en el que se desarrollan estas especies varía desde nulo a pleno afloramiento de roca madre hasta 40 cm de profundidad (García y Passini, 1993).

Parte importante de la ecología de *P. johannis* se describe en el estudio que se realizó en el noreste del Estado de Zacatecas, comprendiendo los Municipios del Salvador, Concepción del Oro, Mazapil y Melchor Ocampo. El bosque de pino se encuentra generalmente sobre terreno abrupto, ocupando las partes altas de las sierras, en laderas, cañadas y bajadas, a altitudes entre los 2,100 y 3,180 msnm. El sustrato geológico es generalmente de calizas, aunque existen sobre lutitas, conglomerados, granito y rocas ígneas intrusivas. Este bosque es una comunidad dominada fisonómicamente por un estrato arbóreo de 5 a 8 m de alto, constituido primordialmente por *Pinus cembroides*, acompañado en muchos casos por *Yucca carnerosana* Trel., o por un estrato subarbóreo de 1 a 2 m de *P. johannis*, sólo en una pequeña parte se encontró asociado con *P. pinceana* (Aldrete, 1981).

Dentro de la ecología de una especie también se señala la germinación y viabilidad de las semillas, teniendo como definición que la germinación es el surgimiento y desarrollo, a partir del embrión de la semilla, de las estructuras esenciales que indican la capacidad de la semilla para producir una planta normal en condiciones favorables y es capaz de sintetizar su propio alimento (Hartmann y

Kester, 1981; Willan, 1991). Y se expresa como el porcentaje de semillas puras que producen plántulas normales, o como el número de semillas que germinan por unidad de peso de la muestra (Willan, 1991).

Diehl y Mateo (1978) mencionan que una semilla sólo podrá germinar si reúne las siguientes características: que no haya sobrepasado el límite de longevidad, estar normalmente constituida por embrión y reservas intactas, tener tegumentos permeables y que la semilla haya alcanzado su madurez fisiológica. Al llegar a la madurez, las semillas de los pinos presentan notables diferencias en tamaño, forma y peso; textura, color y grosor de los tegumentos y la testa; color y consistencia del gametofito femenino, así como en el número y longitud de los cotiledones, entre otros.

En el *Pinus johannis* existe diferencia en la capacidad de germinación relacionada con el color de la semilla. Las semillas “moteadas” tienen baja capacidad germinativa y las claras tienen el porcentaje más alto de germinación (Nepamuceno *et al.*, 1987).

Las características de los conos junto con la diversidad genética pueden servir como indicadores reproductivos para evaluar el estado genético y supervisar la viabilidad de las poblaciones pequeñas y aisladas (Mosseler y Rajora, 1998).

2.2.3 Distribución

Una de las primeras localidades de *Pinus johannis* en describirse es la que se encuentra en el estado de Zacatecas, en el camino que va de Concepción del Oro a Mazapil, a una altura de 2700 msnm. Recientemente se han localizado otras poblaciones aunque de tamaño relativamente pequeñas en el Oeste de Coahuila y entre los pueblos de Miquihuana, Tamaulipas y Aramberri, Nuevo León (Perry, 1991).

Recientemente se encontró *Pinus johannis* en una nueva localidad ubicada en el sureste de Coahuila, en el Municipio de Arteaga, en el cerro El Coahuilón. Sin embargo, llegan individuos aislados hasta 2840 msnm hasta los bosques de *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus hypoxantha* y *Q. greggii*, de suelos profundos,

pero fuertemente afectados por disturbios antropogénicos e incendios que han destruido en su totalidad el dosel superior conformado de *Pinus arizonica* y *Pseudotsuga menziesii* muertos pero aun firmes. El límite inferior de *Pinus johannis* alcanza los 2550 msnm. En la zona, la extensión máxima de *P. johannis* se encuentra en una vegetación tipo matorral de *Agave* sp, *Arctostaphylos* sp, *Ceanothus* sp, *Dasyllirion* sp, *Yucca* sp, con algunas herbáceas como *Eupatorium* sp, *Penstemon* sp, y *Salvia* sp. En las poblaciones principales se ha notado que la regeneración de *P. johannis* es media, sin embargo podrían considerarse comunidades en peligro por estar en áreas muy cercanas a poblaciones con actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería, a esto podrían sumarse los riesgos de incendios que son frecuentes en estas localidades (García y Passini, 1993).

Otra de las localidades en las que se ha encontrado *Pinus johannis* es en la Sierra la Paila, en el Estado de Coahuila, entre los Municipios de General Cepeda y Ramos Arizpe. La superficie de esta región es de 1,134 km². Se define como una región prioritaria para la conservación, ya que incluye relictos de vegetación clímax de *Pinus* sp, *P. johannis*, y *P. remota*, regularmente conservados. Existen especies de flora y fauna endémicas. Existe una pendiente altitudinal en donde se encuentran desde matorrales desérticos y chaparrales hasta bosques de pino. Los principales tipos de vegetación para este sitio son: chaparral, bosque de pino, matorral espinoso tamaulipeco, matorral submontano y matorral desértico rosetófilo. En esta región se tiene el clima BSokw que corresponde a un clima árido, en cuanto a los aspectos fisiográficos, el tipo de suelo que se encuentra en esta zona pertenece a un leptosol lítico, suelo somero, limitado en profundidad por una roca dura continua o por una capa continua cementada dentro de una profundidad de 10 cm a partir de la superficie (Arriaga *et al.*, 2000).

2.2.4 Problemática

Pinus johannis por localizarse en poblaciones pequeñas y aisladas se le considera amenazada por distintos factores que inciden en forma muy negativa en su reproducción, siendo de esta forma una especie sujeta a protección especial en

la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (Robert 1978; SEMARNAT, 2010). Especie rústica que aparte de su interés recreacional, puede ser de mucha utilidad en la reforestación de suelos con poca humedad (Robert, 1978).

En las poblaciones principales se ha notado que la regeneración de *P. johannis* es media, sin embargo podrían considerarse comunidades en peligro por estar en áreas muy cercanas a poblaciones con actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería, a lo cual podrían sumarse los riesgos de incendios que son frecuentes en estas localidades (García y Passini, 1993).

Hay especies forestales que se encuentran en poblaciones aisladas y de tamaños relativamente pequeños, lo que tienen una pobre producción de semillas, donde el número de semillas vanas es alto, como resultado de una autopolinización produciéndose el fenómeno de endogamia, que repercute en la capacidad germinativa, el vigor de plántulas y la tasa de crecimiento y supervivencia en campo (Mosseler, 1998).

2.3 Crecimiento en pinos piñoneros

El crecimiento es atribuible a la división y expansión de las células de una capa de cambium localizada entre la corteza y la madera. Como consecuencia del crecimiento cambial, cada año se insertan nuevas capas de madera y de corteza interna, entre la capa de madera y la corteza del año anterior produciendo un aumento en el diámetro del tronco (Kozlowski, 1991) y formando en muchas coníferas los anillos anuales de crecimiento (Hocker, 1984).

En términos generales el crecimiento se refiere al cambio en tamaño de una población o individuo, ya sea en biomasa, en número o en cualquier otra variable de interés, en un intervalo; de aquí que el crecimiento siempre debe estar referido a unidad de tiempo (Torres y Magaña, 2001).

En el caso de los árboles consiste en la elongación y crecimiento de raíces, tallos y ramas, provocando cambios en peso, en forma y en volumen como resultado de la actividad de los meristemos primario y secundario, cuya estimación

es un proceso esencial para el manejo forestal (Hush *et al.*, 1982). Otro término importante relacionado con el crecimiento es el incremento, éste se refiere al crecimiento del árbol en un determinado periodo de tiempo (Klepac, 1976).

Los árboles de un bosque presentan diferentes ritmos de crecimiento, teniendo como consecuencia la diferencia en el desarrollo o incremento de un bosque con respecto al de un árbol (Klepac, 1976). En los árboles se pueden manifestar diferentes formas de crecimientos: crecimiento en diámetro, crecimiento en área basal, crecimiento en altura y crecimiento en volumen (Villa, 1963).

2.3.1 Técnicas de evaluación de crecimiento

De manera general existen dos métodos para determinar el incremento: el método indirecto y directo. El primero se puede clasificar en dos grupos: índices de productividad de Paterson y determinación del incremento con base a la cubierta vegetal. El segundo consiste en tomar medidas de forma directa y se puede clasificaren cuatro grupos: tablas de incremento y producción, método del taladro de Pressler, método de control y análisis troncal (Klepac, 1976). Para realizar las estimaciones de crecimiento e incremento los métodos más ampliamente utilizados en México son el método directo que considera el método de análisis troncal y el método de taladro de Pressler (Klepac, 1976; Alder 1980).

2.3.1.1 Taladro de Pressler

Este método consiste en barrenar el árbol por lo general a la altura del diámetro normal (1.30 m) para extraer muestras de madera de forma cilíndrica (virutas) que permite ver y contar los anillos anuales de crecimiento (Villanueva *et al.*, 2004).

Para utilizar el taladro de Pressler es importante conocer los anillos de crecimiento y su formación. Padilla (1987) define anillo de crecimiento como, el conjunto de células xilemáticas producidas por el cambium vascular que presenta dos periodos de crecimiento, estos al ser vistos a simple vista, en corte transversal

de un tallo, se ven como anillos. En las zonas de clima templado los anillos de crecimiento se producen uno por año, por lo que se les ha llamado anillos anuales de crecimiento.

En especies de clima tropical se pueden generar varios anillos por cada año. La formación de anillos se realiza cada que las células del xilema producidas en primavera son grandes y las formadas más tarde son pequeñas, y que durante el invierno el crecimiento se interrumpe, la madera que se forma cada año adopta la forma de anillo anual o de crecimiento. La anchura de cada anillo se ve afectada por el clima y otras variables (Klepac, 1976).

El incremento anual en diámetro del árbol se manifiesta en los anillos de crecimiento. El ancho de los anillos no es igual a lo largo de todo el fuste, los anillos son más anchos en la parte superior y decrecen hacia la base del árbol; cada árbol produce normalmente un anillo de crecimiento por año, excepcionalmente puede ocurrir que se produzcan varios anillos en un año, en caso de que se presenten a éstos se les llaman anillos falsos (Klepac, 1976). Se tienen varias concepciones de los diferentes anillos de crecimiento que se han formado por causas muy diferentes.

Describiendo que un anillo anual es la capa de crecimiento correspondiente al periodo de un año, la cual se observa en un tronco en su sección transversal; como anillo anual falso se considera al que se presenta doble o múltiple; el anillo discontinuo es el que aparentemente no se presenta alrededor de todo el tallo; el anillo doble o múltiple es aquel que comprende dos o más anillos de crecimiento; anillo falso de crecimiento es un crecimiento tardío estimulado que presenta el aspecto de dos anillos de crecimiento, pero producidos en el mismo año; y el anillo traumático que es la zona del cambium que ha sido lesionada (Padilla, 1987).

La formación de los anillos anuales de crecimiento en los árboles ayuda a definir la edad de un árbol o de una comunidad forestal y también sirve para determinar la tasa de crecimiento de un árbol o un bosque en un tiempo determinado (Klepac, 1976).

2.3.1.2 Análisis troncal

En el método de análisis troncal se puede conocer el crecimiento e incremento del árbol durante toda su vida. Para esto el árbol debe ser derribado y de éste se toman secciones o rodajas transversales de las cuales dos de ellas deben ubicarse en sitios precisos. La primera debe tomarse precisamente a la altura del apeo (20-30 cm), y la segunda a la altura del pecho (1.30 m), las restantes se obtienen a igual distancia unas de otras (1, 2 ó 3 m) si es posible (Klepac, 1976).

2.4 Modelos de crecimiento

Un modelo es una forma de caracterizar un sistema o parte de un sistema. Es una abstracción y simplificación de un proceso natural que permite su estudio y análisis. Este puede estar constituido por uno o varios gráficos, uno o más cuadros, una o múltiples ecuaciones, uno o más subsistemas, etc. (Prodan *et al.*, 1997). Es una abstracción de la dinámica forestal natural, abarcando crecimiento, mortalidad y otros cambios en la composición y estructura del rodal. Generalmente se usa el término modelo de crecimiento para hacer referencia a un sistema de ecuaciones con una predicción de crecimiento y producción de un rodal bajo una amplia variedad de condiciones (Vanclay, 1994).

Los modelos de crecimiento describen las tasas de crecimiento de los recursos forestales para las especies más importantes de la unidad de manejo. También se pueden predecir cambios en la fertilidad del suelo o en el potencial de producción para las especies importantes, guiando las decisiones de los silvicultores (Adlard, 1983).

Se pueden manejar desde tres aspectos principales: modelos basados en parámetros de rodales, modelos de árboles individuales y el desarrollo de técnicas intermedias entre los modelos que toman en cuenta la competencia entre las copas y utilizan parámetros medios del rodal (Alder, 1980; Adlard, 1983).

Para el arbolado adulto se han realizado diversos trabajos mediante el análisis de crecimiento de especies del género *Pinus* en México (Cuadro 1).

Cuadro 1. Algunos estudios de crecimiento de especies del género *Pinus* en México.

Espece	Lugar	Descripción del estudio	Autor
<i>Pinus patula</i> Schl. Et Cham.	Región de Huayacocotla, Veracruz	Índice de sitio	Monroy, 1996
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	Región de Cd. Hidalgo, Michoacán	Estudio epidométrico e índice de sitio	Pereyra, 2003
<i>Pinus herrerae</i> Martínez	Región de Cd. Hidalgo, Michoacán	Índice de sitio	Mares, 2003
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> Barr. Et Golf.	Plantaciones de la Sabana, Oaxaca	Estudios de Crecimiento	Montero y Fierros, 1995
<i>Pinus patula</i> var. <i>longipedunculata</i> , Look ex Martínez, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. Y <i>P. ayacahuite</i> Ehrenb.	Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca	Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas	Hernández, 2003
<i>Pinus durangensis</i> Martínez, <i>P. Cooperi</i> Blanco, <i>P. leiophylla</i> Schl. et Cham., <i>P. engelmannii</i> Carr y <i>P. herrerae</i> Martínez	Región del Salto, Durango	Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México	Corral y Návar, 2005
<i>Pinus cooperi</i> Blanco	En el estado de Durango, Durango	Modelos de volumen y crecimiento en altura dominante para <i>Pinus cooperi</i> en el estado de Durango, México	Cruz, 2007

Autores que han realizado estudios referentes al análisis de crecimiento demuestran que de los modelos de ajuste más empleados para el crecimiento forestal se destacan tres principalmente: Schumacher, Chapman-Richards y Weibull (Cuadro 2).

Cuadro 2. Modelos no lineales más empleados para el análisis de crecimiento de coníferas.

Modelo	Autores
Schumacher	Castaños (1962), Alder (1980), Zepeda y Rivero (1984), Benavides (1991), Aguilar R y S Aguilar (1991), Narváez (1992), Benavides y Manzanilla (1993), Madrigal y Ramírez (1995), González (1997) y Zamudio y Ayerde (1997).
Chapman-Richards	Alder (1980), Madrigal y Ramírez (1995), González (1997) y Zamudio y Ayerde (1997).
Logístico	Aguilar R y S. Aguilar (1991), y Zamudio y Ayerde (1997).
Weibull.	Aguilar (1991), Madrigal y Ramírez (1995), González (1997) y Zamudio y Ayerde (1997).
Gompertz	Aguilar (1991), y Zamudio y Ayerde (1997).
Korf	González (1997) y Zamudio y Ayerde (1997).
Sloboda	Aguirre (1991), Zamudio y Ayerde (1997).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de las áreas de estudio de *Pinus johannis*

El presente estudio se llevó a cabo en las poblaciones de *Pinus johannis*, distribuidas en las localidades de Siberia, Laguna de Sánchez, Mesa del Rosario y San Antonio de la Osamenta que pertenecen el estado de Nuevo León, Mesa de las Tablas al estado de Coahuila y Concepción del Oro al estado de Zacatecas, lugares que forman parte de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental (Figura 1 y Cuadro 3).

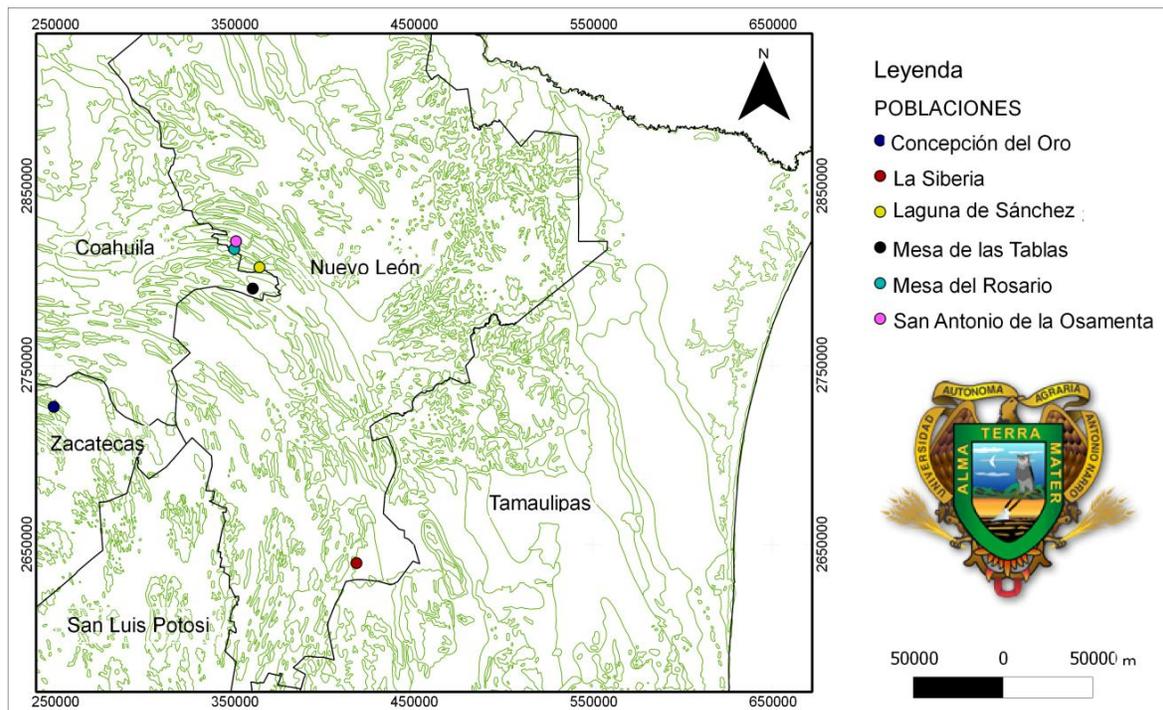


Figura 1. Localización geográfica de las áreas de estudio de *Pinus johannis*.

Cuadro 3. Localización de las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

Población	Municipio	Estado	Coordenadas Geográficas	Altitud promedio (msnm)
Concepción del Oro	Concepción del Oro	Zacatecas	24°38'12.30" 101°28'32.00"	2935
Mesa de las Tablas	Arteaga	Coahuila	25°14'50.40" 100°23'12.08"	2853
La Siberia	Zaragoza	Nuevo León	23°52'7.00" 99°48'16.80"	2730
Mesa del Rosario	Santiago	Nuevo León	25°26'37.08" 100°29'31.10"	2312
Laguna de Sánchez	Santiago	Nuevo León	25°21'15.20" 100°21'1.10"	2104
San Antonio de la Osamenta	Santa Catarina	Nuevo León	25°29'4.20" 100°28'56.60"	1897

3.1.1 Descripción general de las seis poblaciones de *Pinus johannis*

La población Siberia pertenece al municipio de Zaragoza del estado de Nuevo León con una altitud de 2,730 msnm ubicada entre las sierras: Las Torres, La Nieve, Los Toros y la Peña Nevada, con alturas que van de los 3,120 hasta los 3,540 msnm.

Las poblaciones Laguna de Sánchez con un altitud de 2,104 msnm y Mesa del Rosario con 2,312 msnm pertenecen al municipio de Santiago, Nuevo León, ubicadas entre las Sierras más importantes del municipio: La Sierra del Álamo, La Viga, La Tarrillal, La Cebollas, la de San Juan, la del Potrero de Ábrego en su límite con Coahuila, y al oriente del municipio la Sierra de la Silla, la altura de estas sierras varía de 1,860 hasta los 3,500 msnm.

San Antonio de la Osamenta pertenece al municipio de Santa Catarina también del estado de Nuevo León con una altitud de 1,897 msnm ubicada entre

las sierras: Sierra Urbano, la de San Juan, Tarrillal y la Sierra Agua del Toro, con altura que varía de los 3,000 hasta los 3,240 msnm.

La población Mesa de las Tablas posee una altitud de 2,853 msnm y pertenece al municipio de Arteaga del estado de Coahuila, ubicada entre las sierras: La Marta, Potrero de Ábrego, Rancho Nuevo y La Viga, las cuales están en una altitud comprendida entre los 3,000 a los 3,700 msnm.

Concepción del Oro es la población que pertenece al municipio del mismo nombre del estado de Zacatecas, ubicada a los 2,935 msnm ubicada entre las sierras: El Astillero, de Rodríguez y Crestones, la altura de estas sierras varía de los 1,600 hasta los 3,200 msnm.

De una manera más general con respecto a la localización de las seis poblaciones de estudio, en el Cuadro 3 se menciona los municipios y estados a los que pertenecen y así mismo las coordenadas geográficas de cada población.

3.1.2 Aspectos físicos

Las seis poblaciones de estudio presentan similitud en ciertas características físicas tales como clima y suelo, donde el clima que predomina en las poblaciones de Laguna de Sánchez, San Antonio de la Osamenta, Mesa del Rosario y Siberia es C (w1) (García, 1998). En la población Concepción del Oro se caracteriza con el clima BS1K (X'), y en la población Mesa de las Tablas se encuentran dos tipos de climas, Cb'(w1)X' y BS1K(X') y con respecto al tipo de suelo las poblaciones por lo general están dominadas por un solo tipo de suelo el litosol, muy característico de estas regiones y con respecto a la precipitación las poblaciones de Siberia y Laguna de Sánchez son las que destacan con mayor valor (Cuadro 4).

La vegetación que presentan las poblaciones de *Pinus johannis* es vegetación xerófila, matorral combinado con bosque de pino, bosque mesofilo de montaña, bosque de coníferas y de latifoliadas donde las especies son piñoneros y no tienen una altura mayor a 3 m, en el caso de la población Concepción del Oro la vegetación Matorral desértico es la que se hace presente es ente lugar, y para

la población Siberia la vegetación es clasificada como pino - encino y matorral espinoso (Aldrete, 1981; Rosas y López, 2002).

Cuadro 4. Aspectos físicos de las seis poblaciones de *Pinus johannis*

Población	Clima	Suelo	Precipitación promedio anual (mm)
La Siberia, Laguna de Sánchez, Mesa del Rosario y San Antonio de la Osamenta	Clima C (w1): Templado subhúmedo, semicálido y subhúmedo, media anual entre 14°C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Litosol, rendzina, regosol, fluvisol y castañozem.	900, 598, 590 y 449. 8 respectivamente
Mesa de las Tablas	Clima Cb'(w1)X': Semi – fríos, subhúmedo con verano fresco, temperatura media anual entre 12°C y 16°C, temperatura del mes más frío entre -3°C Y 18° C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Litosol, rendzina, xerosol y regosol.	400 a 500
Concepción del Oro	Clima BS1K(X'): Semiárido, templado, con temperatura media anual es de 16°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente, menor de 22°C.	Litosol y Xerosol.	300 a 400

Fuente: García y Passini, (1993); García (1998).

3.2 Muestreo, variables evaluadas y obtención de virutas de crecimiento

La obtención de datos se llevó a cabo a través de la ejecución de muestreos al azar en parcelas circulares de 500 m² en seis poblaciones distribuidas en la Sierra Madre Oriental, evaluando las siguientes variables dasométricas: sexo, diámetro a la base (DB), diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro de copa (DC), altura (H) y grosor de corteza. Las coordenadas geográficas de los sitios se obtuvieron con un receptor GPS.

Se utilizó el taladro de Pressler para obtener las virutas de crecimiento a 0.30 m de altura. A los árboles que tuvieran un diámetro basal representativo por cada categoría diamétrica, colocándolas en popotes para su protección y conservación.

3.3 Evaluación de virutas de crecimiento

Para evaluar las virutas de crecimiento se les realizó un montaje en pequeñas tablillas de aproximadamente 10 cm de largo y 3 cm de ancho, se les colocó pegamento para que se quedaran inmóviles de acuerdo a una posición donde los anillos fueran más visibles y se amarraron con hilo para sujetarlas.

Realizado el montaje se prosiguió a colocarlas en un área bajo sombra y temperatura ambiente por 30 días, con el fin de que se secaran naturalmente y así evitar algún conflicto como la generación de grietas en las virutas.

Después de los 30 días se desamarraron y se comenzó a revisar en qué condiciones se encontraban para poder empezar a lijarlas una por una, con hojas de lijas finas para madera de papel kraft con un número de grano de 60.

Para empezar con la lectura de anillos se les aplicó a las virutas ya lijadas un compuesto aclarador de madera (gasolina) con el fin de obtener una mayor visibilidad de los anillos que poseen, lectura de anillos se llevó a cabo con la utilización de un microscopio y la anotación de datos se llevó a cabo en un formato especial para la clasificación de cada una, donde las variables evaluadas fueron: Número total de anillos, longitud del total de anillos, longitud de los últimos 5

anillos, longitud de los últimos 10 anillos, tiempo de paso. Esto se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Forestal del Departamento Forestal de la UAAAN.

3.4 Análisis de crecimiento del *Pinus johannis*

Para llevar a cabo el análisis de crecimiento e incremento del *P. johannis* se prosiguió con la captura de los datos obtenidos a través de la evaluación de las virutas de crecimiento obtenidas de los árboles (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de árboles evaluados por cada población y el total de las seis poblaciones del *Pinus johannis*.

Poblaciones	Número de árboles evaluados
La Siberia	20
Laguna de Sánchez	28
Mesa del Rosario	23
San Antonio de la Osamenta	29
Mesa de las Tablas	24
Concepción del Oro	29
Total	153

3.4.1 Modelos de crecimiento

Se utilizaron tres modelos de tipo no lineal para estimar el crecimiento e incremento comunes para coníferas que fueron Schumacher, Chapman-Richards y Weibull (modificado) (Alder, 1980; Madrigal y Ramírez, 1995; González, 1997; Zamudio y Ayerde, 1997; y Aguilar (1991) (Cuadro 6). Con el programa SAS se realizó el análisis de varianza de las variables alométricas edad-diámetro, edad-altura, edad-diámetro de copa.

Cuadro 6. Modelos de crecimiento para la representación del crecimiento en altura, diámetro normal y diámetro de copa de *Pinus johannis*.

Modelo	Ecuación
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$
Schumacher	$y = ae^{+b/t}$
Weibull (modificado)	$y = 1 - e^{-at^b}$

Dónde: y = variable de estudio; a, b, c, d= parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales

3.4.2 Comparación y selección de modelos

Para elegir el modelo con mayor ajuste se observa el método gráfico, ya que con el apoyo del procedimiento NLIN de SAS, se grafica el diagrama de dispersión de la que se sobrepondrá la curva ajustada a los datos, el cual nos da una visión de la tendencia que se tiene y la dispersión de los datos para saber si tiene un buen ajuste; coeficiente de determinación (R^2) pues es considerado como el criterio más ampliamente utilizado, cuyo valor más acercado a la unidad determinara el mejor ajuste; coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) por ser el mejor criterio de selección del modelo de crecimiento y el menor valor del cuadrado medio del error (CME) será indicador de un buen ajuste. También el análisis de varianza el cual servirá para conocer la significancia a un nivel de confiabilidad determinado (Sit y Poulin-Costello, 1994; Vanclay, 1994).

3.4.3 Cálculo de los incrementos de cada población de *Pinus johannis*

Para conocer los incrementos de las seis poblaciones de *Pinus johannis* se tomó en cuenta el mejor modelo de incremento de cada población y variable de estudio, realizando la comparación de graficas entre el incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) de cada población, éstos incrementos se

calcularon a partir de los valores de cada variable (altura, diámetro basal y diámetro de copa), cuyo procedimiento es $ICA = \text{diferencia en la variable} / \text{diferencia de edad}$ e $IMA = \text{valor de la variable} / \text{edad}$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Modelos

A continuación se presentan los mejores modelos por población que resultaron del análisis de crecimiento para las variables altura (Apéndice 1, 2 y 3), diámetro basal (Apéndice 4, 5 y 6) y diámetro de copa (Apéndice 7, 8 y 9). También se dan a conocer las curvas ajustadas generadas por medio de la selección del mejor modelo por población.

Cabe destacar que los mejores valores en los estadísticos de comparación entre las seis poblaciones referente a la variable altura se encuentran en la población de Siberia, con un R^2_{Adj} de 0.9481, en la variable diámetro se encuentran en la población Mesa del Rosario la cual presenta el valor más alto de R^2_{Adj} (0.9415) y referente a la variable diámetro de copa es en la población Siberia, con un R^2_{Adj} de 0.9308 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Mejor modelo para cada variable de estudio y población de *Pinus johannis*.

Población	Altura (m)		Diámetro basal (cm)		Diámetro de copa (m)	
	Modelo	R^2_{Adj}	Modelo	R^2_{Adj}	Modelo	R^2_{Adj}
Siberia	Schumacher	0.9481	Schumacher	0.9305	Schumacher	0.9308
Mesa de las Tablas	Schumacher	0.9163	Schumacher	0.9067	Schumacher	0.8833
Mesa del Rosario	Chapman-Richard's	0.8878	Schumacher	0.9415	Chapman-Richard's	0.8387
San Antonio de la Osamenta	Chapman-Richard's	0.8729	Chapman-Richard's	0.7830	Chapman-Richard's	0.8578
Laguna de Sánchez	Schumacher	0.9114	Schumacher	0.9035	Schumacher	0.7589
Concepción del Oro	Chapman-Richard's	0.9153	Schumacher	0.9119	Schumacher	0.9076

En el Cuadro 8 se dan a conocer estudios en los cuales se utilizaron modelos de crecimiento para las variables altura y diámetro, de los cuales destaco el Schumacher como el mejor modelo, este último dato concuerda con la obtención del mejor modelo para este estudio, ya que por lo regular es el modelo más utilizado por ser sencillo y práctico.

Cuadro 8. Estudios sobre el uso de modelos de crecimiento en altura y diámetro del genero *Pinus*.

Variable	Autor	Año	Especie	Lugar	Modelo
Altura (m)	Madrigal y Ramírez	1995	<i>Pinus douglasiana</i> y <i>P. Lawsonii</i>	Barranca de Cupatitzio, Uruapan, Michoacan	Schumacher
	Benavides y Manzanilla	1993	<i>Pinus michoacana</i> var. <i>cornuta</i> y <i>P.</i> <i>oocarpa</i>	Tapalpa, Jalisco	Schumacher
Diámetro (cm)	Monárrez y Ramírez	2003	<i>Pinus duranguensis</i> Martinez	Estado de Durango	Schumacher
	Arteaga	2000	<i>Pinus oaxacana</i> , <i>P.</i> <i>montezumae</i> y <i>P.</i> <i>pseudostrobus</i>	Ayotoxtla, Guerrero	Chapman- Richard's
	Arteaga	2000	<i>Pinus radiata</i>	Ayotoxtla, Guerrero	Schumacher

4.2 Crecimiento e incremento de acuerdo a cada variable de estudio para las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

4.2.1 Altura

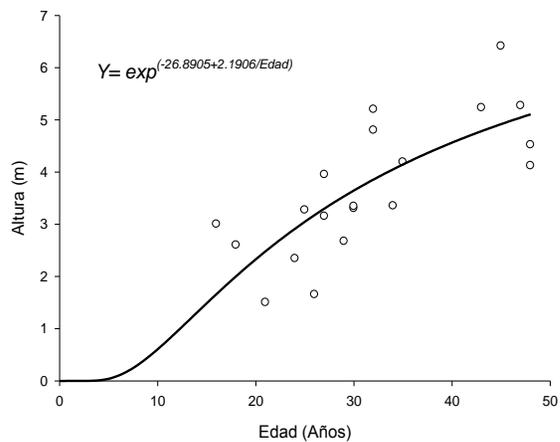
El crecimiento en altura de *P. johannis* se da a conocer en la Figura 2 a través de la generación de curvas ajustadas de acuerdo a cada población, a pesar de que las seis poblaciones son longevas, las poblaciones Siberia, Mesa de las

Tablas, Mesa del Rosario y Laguna de Sánchez (Figura 2 A, B, C y E) tienden a crecer a partir de los 10 años llegando a los 5 m de altura como máximo, mientras que la curva de ajuste que se generó en la población San Antonio de la Osamenta señala que la determinación del crecimiento de la especie de estudio arroja una respuesta ascendente a partir de los primeros años con una altura máximo de 6 m a la edad de 108 años (Figura 2 D), este último resultado determina que en esta población se encuentra el mejor crecimiento en altura.

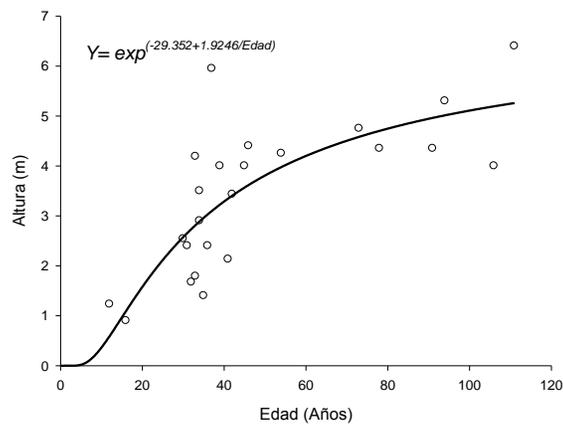
Cabe mencionar que la población Concepción del Oro de igual manera comienza a crecer los primeros años con la diferencia que su altura máxima es de 4 m aproximadamente a la edad de 99 años (Figura 2 F).

Comparando los resultados obtenidos en el presente estudio con los que obtuvo Hernández (2003) en su trabajo donde señala que el *Pinus pseudostrobus* a la edad de un año mostró un crecimiento de 0.60 m y que a partir de los dos años reflejo un crecimiento ascendente obteniendo un desarrollo de 7.07 m a la edad de siete años, posteriormente disminuyo ligeramente permaneciéndose así hasta a la edad de 13 años que alcanzó una altura máxima de 10.34 m de altura, se determina que la especie *Pinus johannis* presenta un lento crecimiento con respecto a la variable altura.

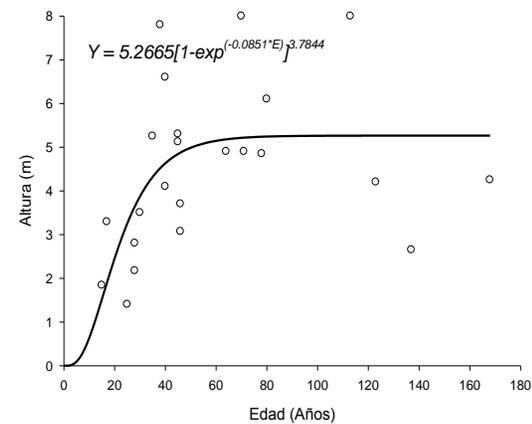
Este último dato concuerda con el estudio de Cortés (2010) sobre el Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca, donde determina que para la variable altura, el crecimiento máximo se presentó a la edad de ocho años en *Pinus pseudostrobus* con una altura de 5.67 m, *Pinus douglasiana* con 6.64 m y *Pinus patula* con 6.99 m; y con el estudio epidométrico de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En la región de Cd. Hidalgo, Michoacán de Pereyra (2003) donde menciona que la curva de crecimiento en altura presenta un crecimiento rápido hasta los 45 años alcanzando una altura de 26 m y que a partir de los 55 años una altura de 29 m, donde posteriormente la curva de crecimiento se estabiliza hasta los 136 años.



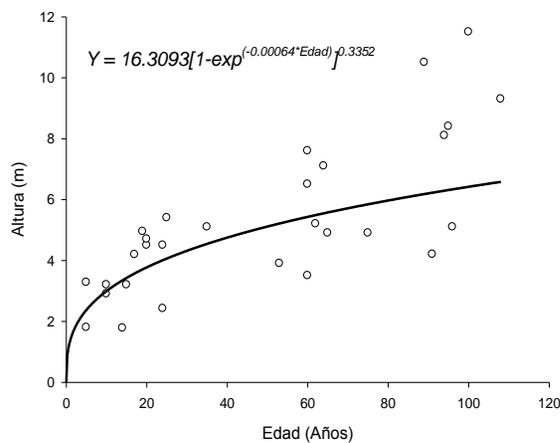
A) Siberia



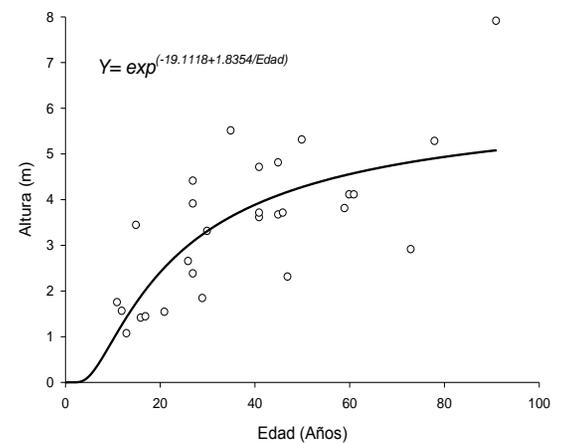
B) Mesa de las Tablas



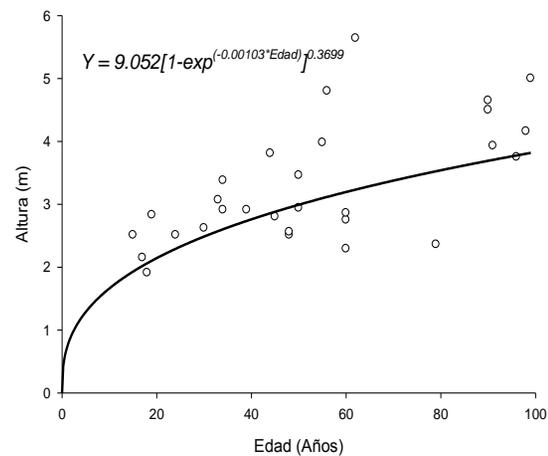
C) Mesa del Rosario



D) San Antonio de la Osamenta



E) Laguna de Sánchez



F) Concepción del Oro

Figura 2. Curva ajustadas de la relación edad-altura de las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

En las poblaciones San Antonio de la Osamenta (Figura 4 D) y Concepción del Oro (Figura 4 F), no se presentan las curvas típicas de ICA e IMA porque las curvas de crecimiento no son sigmoideas, ya que estas curvas se ajustan debido a la variación de datos que en cada población se presenta.

Con el fin de obtener las curvas típicas de ICA e IMA se generaron las curvas de crecimiento sigmoideas para San Antonio de la Osamenta y Concepción del Oro (Apéndice 10 y 11), utilizando el segundo mejor modelo de crecimiento, Schumacher.

Las gráficas generadas muestran el incremento en altura de una manera más descriptiva, donde las curvas ajustadas de incremento en las poblaciones San Antonio de la Osamenta y Concepción del Oro (Figura 3 y 5), señalan que para las dos poblaciones a la edad de 10 años se presenta el ICA máximo con incrementos de 0.35 m y 0.15 m respectivamente, y que a la edad de 18 años aproximadamente el IMA máximo con incremento de 0.24 m y 0.11 m respectivamente, misma edad donde se presentan también para las dos poblaciones el cruzamiento de incrementos, mientras que Pereyra (2003) en su estudio epidométrico de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán, menciona que dentro de los primeros cinco años el ICA obtenido presenta un crecimiento rápido con un incremento de 0.38 m, alcanzando su máximo valor de 0.83 m a la edad de 20 años y el IMA aumenta desde los primeros cinco años hasta que alcanza su máximo valor de incremento a 0.67 m a la edad de 30 años, comparación que determina que a esa misma edad la especie *Pinus johannis* presenta un decreciente incremento en altura con respecto al *P. montezumae*.

En las otras cuatro poblaciones las curvas ajustadas se presentan en forma de campana de las cuales la población Siberia (Figura 4 A) se destaca por tener un ICA máximo a la edad de 16 años con un incremento de 0.13 m aproximadamente cuando esta desciende se cruza con la curva de IMA la cual tiene su incremento máximo a la edad de 22 años de 0.12 m y el cruce de las curvas se da a la edad de 27 años, donde después el ICA desciende llegando a un

incremento de 0.04 m, mientras que el IMA se mantiene por encima de ella con un incremento de 0.1 m.

A pesar de que la población Siberia es en donde se presenta el mayor incremento en altura, al ser comparado con los resultados del estudio de Mares (2003) sobre el Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo Michoacán, donde menciona que el ICA presenta un crecimiento desde los primeros cinco años con un incremento inicial de 0.28 m, alcanzando su máximo valor (0.73 m) a la edad de 20 años. Y con un IMA que aumentó lentamente, desde los primeros cinco años con un incremento inicial de 0.28m hasta los 30 años en donde alcanza su máximo valor de incremento (0.61 m), la especie de estudio resulta tener un lento incremento en altura.

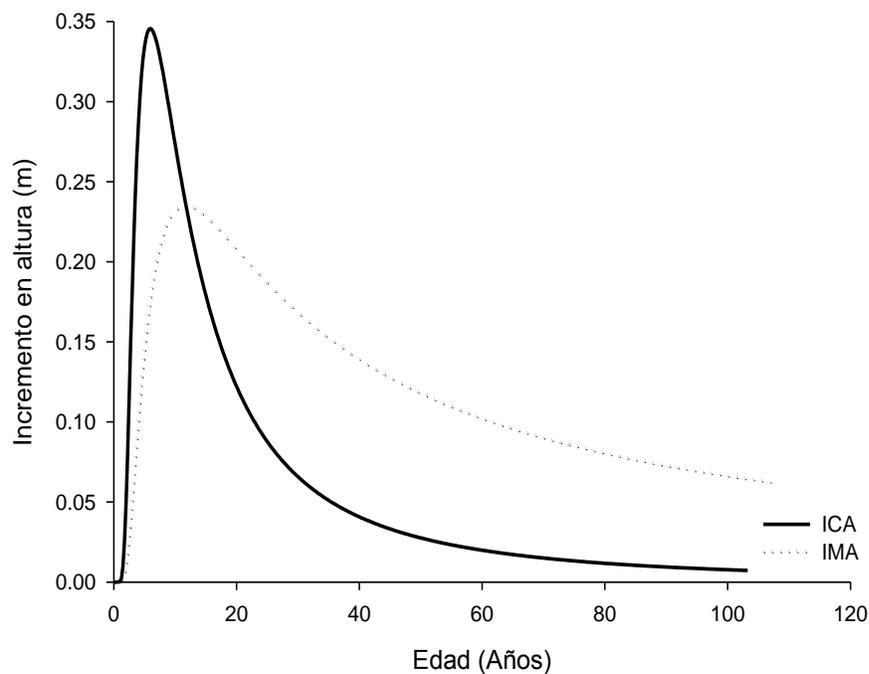
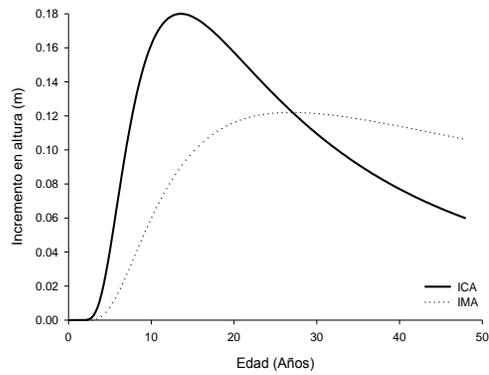
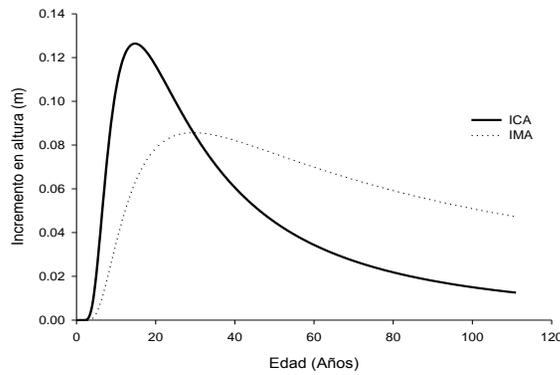


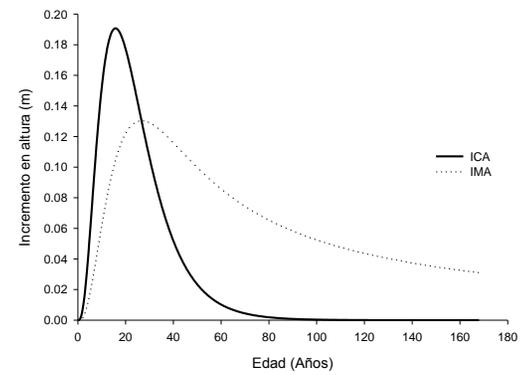
Figura 3. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable altura de la población San Antonio de la Osamenta de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.



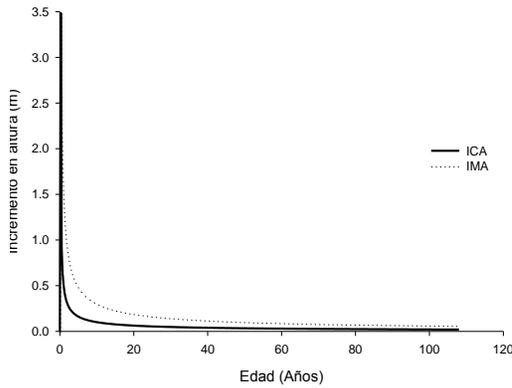
A) Siberia



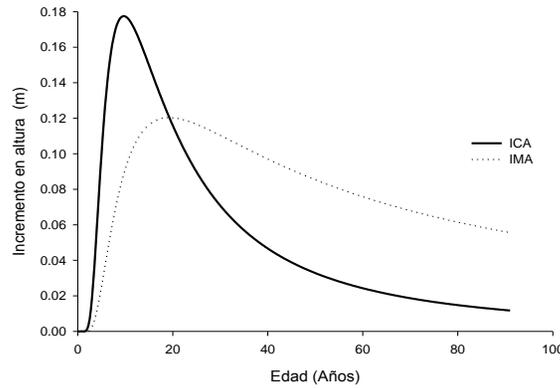
B) Mesa de las Tablas



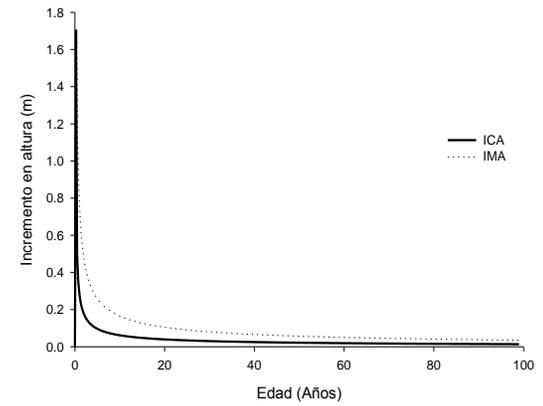
C) Mesa del Rosario



D) San Antonio de la Osamenta



E) Laguna de Sánchez



F) Concepción del Oro

Figura 4. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable altura de las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

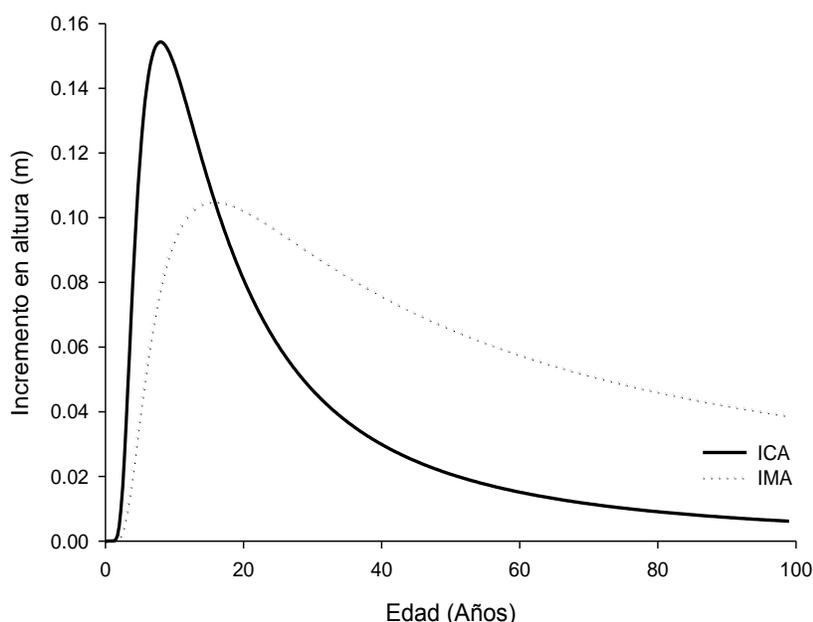


Figura 5. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable altura de la población Concepción del Oro de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.

4.2.2 Diámetro basal (0.30 m)

A continuación se dan a conocer las curvas ajustadas de acuerdo a cada población con respecto a la variable diámetro, donde Siberia, Mesa de las Tablas, Mesa del Rosario, Laguna de Sánchez y Concepción del Oro (Figura 6) a partir de los 10 años comienzan a desarrollar en diámetro con tendencia de un comportamiento ascendente sin presentar discontinuidades, con la diferencia que en las poblaciones Mesa de las Tablas, Mesa del Rosario y Concepción del Oro (Figura 6 B, C y F) el crecimiento en diámetro sobrepasa los 25 cm a partir de los 90 años de edad aprox.

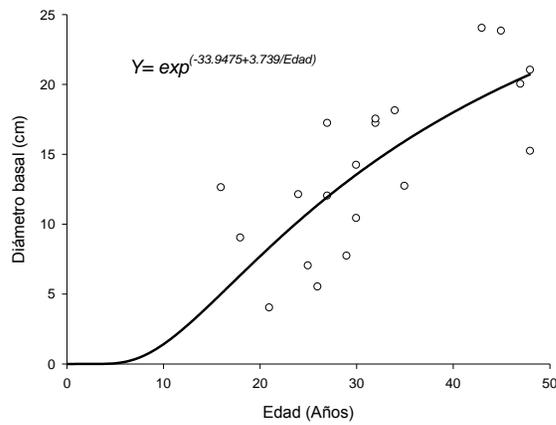
En Siberia (Figura 6, A) el máximo crecimiento en diámetro se encuentra entre los 20 y 25 cm a la edad de 48 años y en la población Laguna de Sánchez (Figura 6 E) el crecimiento máximo en diámetro es de 25 cm a la edad de 91 años, mientras que en la población San Antonio de la Osamenta (Figura 6 D) el

crecimiento en diámetro comienza en los primeros años de edad, presentando como máximo crecimiento en diámetro a la edad de 108 años un rango de entre 20 y 25 cm.

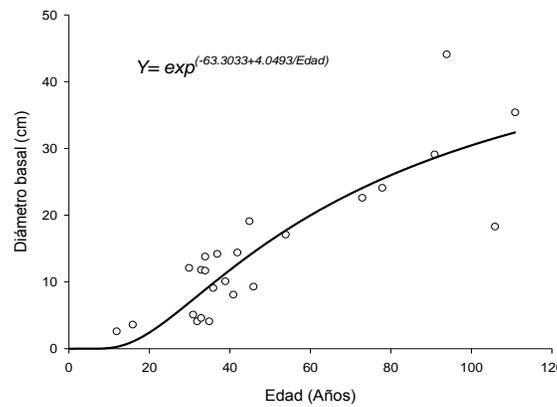
A pesar de que en las poblaciones antes mencionadas, *P. johannis* obtuvo un crecimiento máximo de 25 cm, el cual rebasa el resultado que obtuvo en su estudio Hernández (2003) sobre el *Pinus pseudostrobus* donde señala que esta especie presentó un crecimiento máximo de 24.60 cm. La especie de este estudio presenta lento crecimiento, ya que los 24.60 cm alcanzados como crecimiento máximo en diámetro del *P. pseudostrobus* lo obtuvo a la edad de 13 años indicado un crecimiento acelerado.

Si se comparan los resultados que obtuvo Cortés (2010) en su estudio que realizó sobre el crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlan, Oaxaca, donde la curva de crecimiento en diámetro que presentó *Pinus patula*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pseudostrobus* marca una tendencia ascendente y en forma constante, señalando que a la edad de ocho años el de mayor crecimiento es *Pinus patula* con un diámetro máximo de 11.46 cm, seguido de *Pinus douglasiana* con un diámetro máx. de 11.15 cm y el *Pinus pseudostrobus* con un diámetro máximo de 8.52 cm, con los resultados que se obtuvieron en este estudio, los cuales señalan que en la población Mesa de las Tablas (Figura 6, B) se presentó el mejor crecimiento en diámetro de la especie *P. johannis*, en la cual tiene inicialmente un crecimiento lento, y a partir de los 10 años aproximadamente comienza con la tendencia de un comportamiento ascendente obteniendo un máximo desarrollo que sobrepasa los 30 cm a la edad de 111 años.

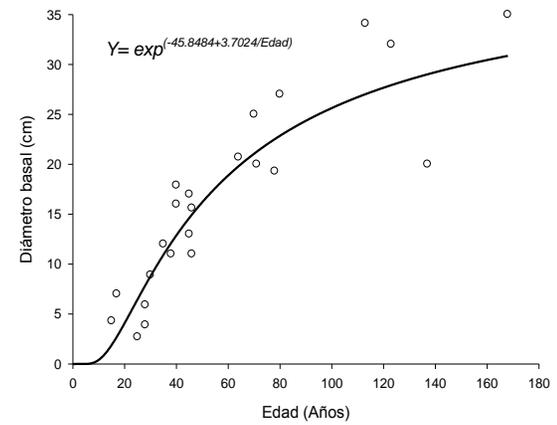
Y con los resultados obtenidos de Pereyra (2003) en el estudio epidométrico de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo donde menciona que la curva de crecimiento en diámetro del *P. montezumae* Lamb. presentó un crecimiento continuo hasta los 60 años alcanzando así el diámetro máximo de 58 cm, la especie de estudio *Pinus johannis* ha presentado un lento crecimiento con respecto a la variable diámetro.



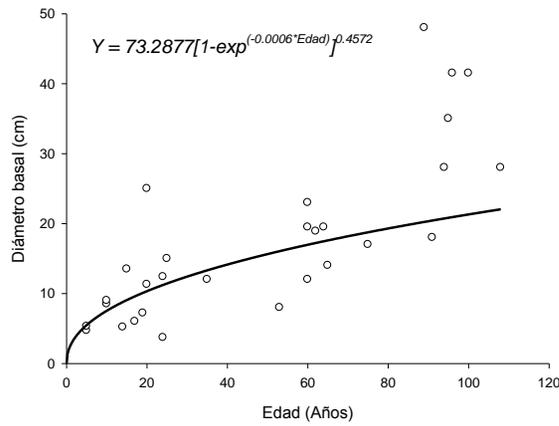
A) Siberia



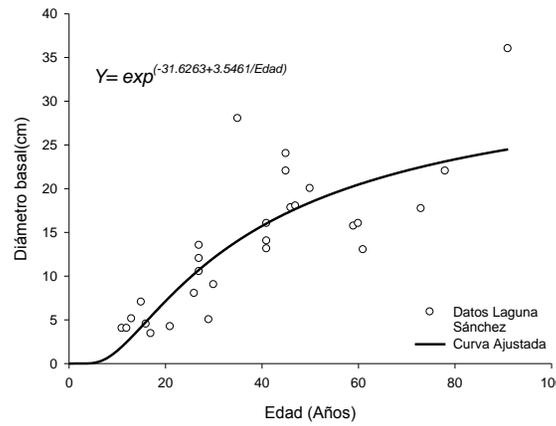
B) Mesa de las Tablas



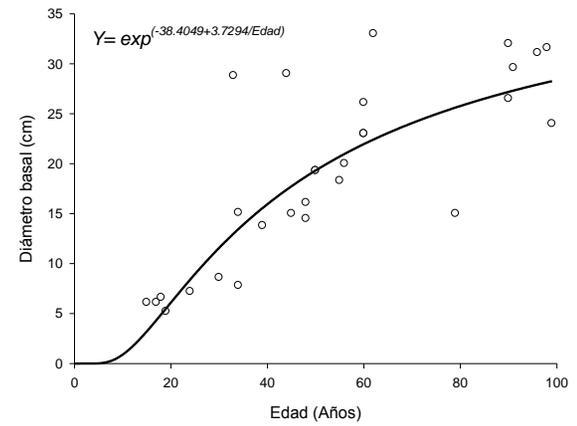
C) Mesa del Rosario



D) San Antonio de la Osamenta



E) Laguna de Sánchez



F) Concepción del Oro

Figura 6. Curva ajustadas de la relación edad-diámetro basal de las seis poblaciones de *Pinus johannis*

Las curvas ajustadas de incremento para diámetro basal en cinco poblaciones se presentan en forma de campana (Figura 7), excepto en la población de San Antonio de la Osamenta (Figura 7 D), ya que en esta población no se presentan las curvas típicas de incrementos, debido a que no tiene curva de crecimiento sigmoideal, para generar dicha curva se utilizó el modelo de crecimiento Schumacher por ser el segundo mejor modelo de crecimiento (Apéndice 12), esto último con el fin de obtener las curvas típicas de ICA e IMA.

Las gráfica generada para la población San Antonio de la Osamenta (Figura 8) muestra el incremento de la variable diámetro basal de una manera más descriptiva, donde el incremento máximo en ICA de 0.7 cm se presenta a la edad de 10 años y el incremento máximo en IMA a la edad de 20 años con un incremento de 0.44 cm aprox. a la edad de 20 años, el cruce de los incrementos se da a los 25 años de edad, pero después de esa edad, sus incrementos disminuyen manteniéndose el ICA por debajo de los 0.2 cm y el IMA por debajo de los 0.4 cm.

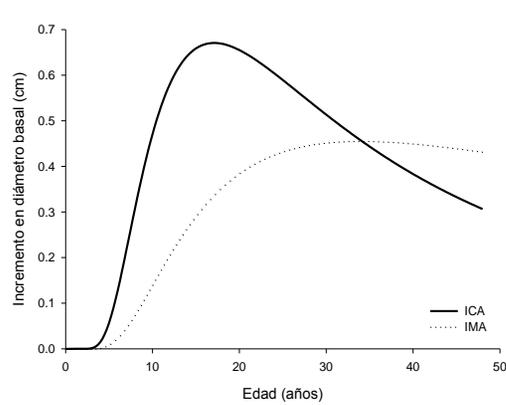
El resultado anterior al ser comparado con los resultados obtenidos en el estudio que realizó Cortes (2010) sobre el crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca, donde los incrementos ICA e IMA en diámetro para el caso de *Pinus pseudostrabus* y *P. douglasiana* presentaron una curva de “J” invertida debido a que el mayor incremento fue en el primer año mostrando un ICA a la edad de un año de 1.49 y 2.71 cm, con un IMA igual al ICA, y *P. patula* presentó una curva en forma de campana donde en el primer año tiene un incremento menor respecto a las demás especies, con un ICA de 0.18 cm y el mayor incremento se muestra a la edad de cuatro años con un ICA de 1.92 cm y un IMA de 1.32 cm, a partir de los tres años el crecimiento es más acelerado, motivo por el cual existe la intersección del ICA e IMA a la edad de siete años, lo anterior demuestra que la especie de estudio *Pinus johannis* ha presentado un lento incremento en diámetro, ya que después de los 25 años de edad el incremento en diámetro del ICA e IMA disminuyen manteniéndose por debajo de los 0.5 cm, mientras que las tres especies del estudio de Cortes (2010)

Pinus pseudostrobus, *P. douglasiana* y *P. patula*, el incremento es más acelerado rebasando los 0.5 cm.

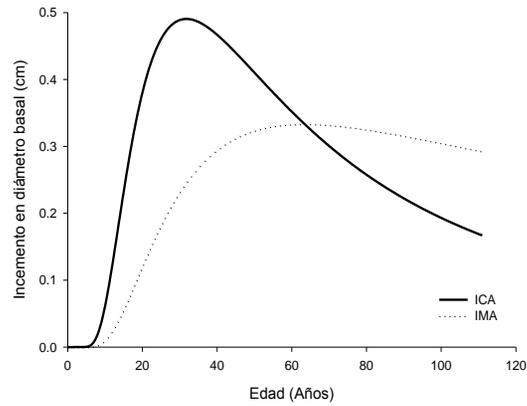
En las poblaciones Siberia, Mesa de las Tablas, Mesa del Rosario, Laguna de Sánchez y Concepción del Oro (Figura 7 A, B, C, E y F) el cruce de ICA e IMA se presenta después de los 30 años de edad, donde el incremento corriente anual (ICA) que se presenta en la población Siberia tiene un incremento en diámetro de aprox. 0.65 cm, llegando a su punto máximo a la edad de 17 años aproximadamente, después comienza a descender, donde las dos curvas de ICA e IMA coinciden a la edad de los 33 años, el IMA alcanza su máximo incremento de aprox. 0.45 cm a la edad de 25 años, la curva del ICA disminuye mientras que la del IMA se mantiene constante, quedando por último el IMA por encima del ICA.

El ICA al principio aumenta con la edad de forma rápida, este aumento es relativo y antes de la mitad de la vida del individuo alcanza un máximo y decrece después de este punto de culminación de manera lenta (Prodan *et al.*, 1997). Indicando así que Siberia es la población que presenta mayor incremento en diámetro entre las seis poblaciones.

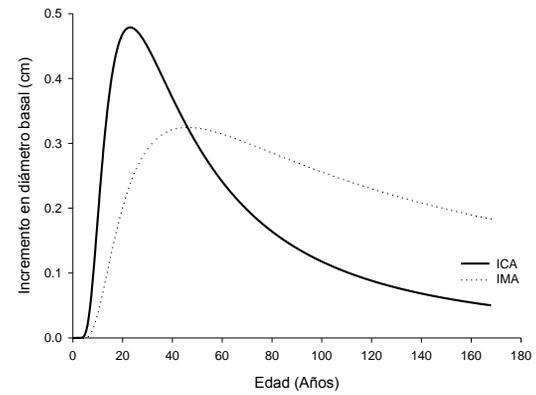
La comparación de los resultados obtenidos en este estudio donde señalan que la población Siberia es la que presenta mayor incremento en diámetro con un ICA de 0.65 cm a la edad de 17 años y un IMA de 0.45 cm a los 25 años, con los resultados obtenidos en el estudio epidométrico de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán de Pereyra (2003) donde el ICA presenta un rápido incremento desde los primeros cinco años con un valor de 0.35 cm hasta alcanzar su máximo valor a los 20 años (0.92 cm), posteriormente, decrece gradualmente hasta los 136 años, para el caso del IMA, este aumenta lentamente a la misma edad y el mismo incremento que el ICA, hasta los 30 años, en el que alcanza su máximo valor de IMA (0.78 cm), después, disminuye lentamente interceptando al ICA a la edad de 40 años hasta llegar a los 136 años, determina que la especie de estudio *Pinus johannis* con respecto a la variable diámetro ha presentado un lento crecimiento.



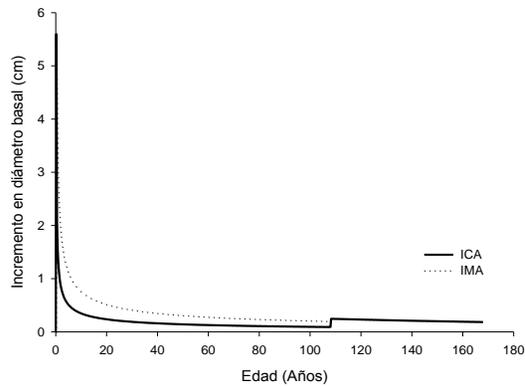
A) Siberia



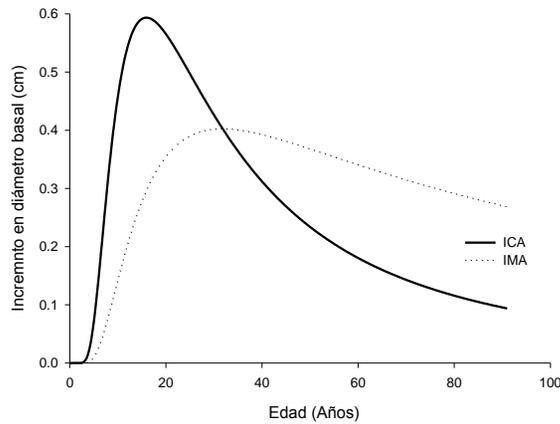
B) Mesa de las Tablas



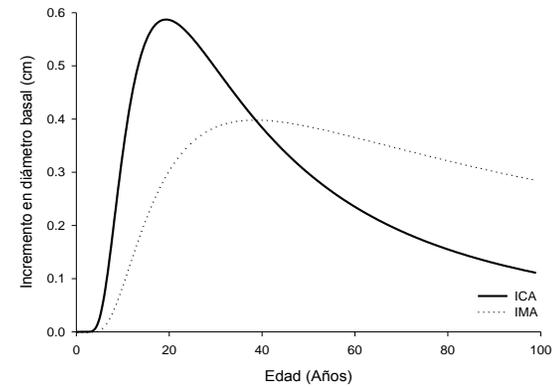
C) Mesa del Rosario



D) San Antonio de la Osamenta



E) Laguna de Sánchez



F) Concepción del Oro

Figura 7. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro basal de las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

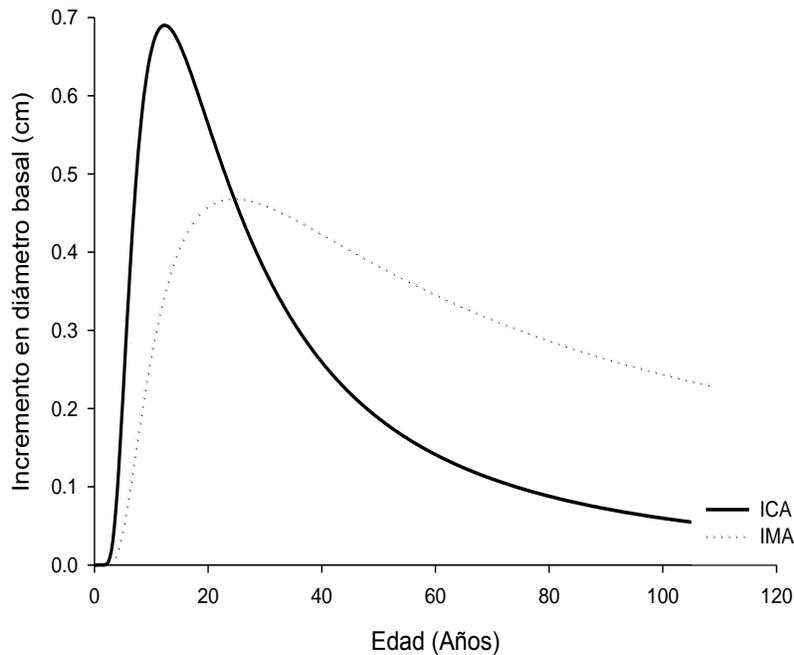


Figura 8. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro basal de la población San Antonio de la Osamenta de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.

4.2.3 Diámetro de copa

En la Figura 9 se dan a conocer las curvas ajustadas de acuerdo a cada población con respecto a la variable diámetro de copa, donde Siberia (Figura 9 A) presenta un crecimiento de manera ascendente a partir del rango que abarca entre los 5 y 10 años de edad, obteniendo un máximo crecimiento en diámetro de copa que sobrepasa los 5 m a los 48 años de edad, este resultado al compararlo con el resultado de Sosa (2001) en su estudio sobre el Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham. en rodales localizados en el Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León donde obtuvo un rango de diámetro de copa para esta especie de 45 cm hasta 2.3 m en 14 rodales de 5 árboles cada uno y un rango en altura desde 1.3 m a 3.71 m. con una edad

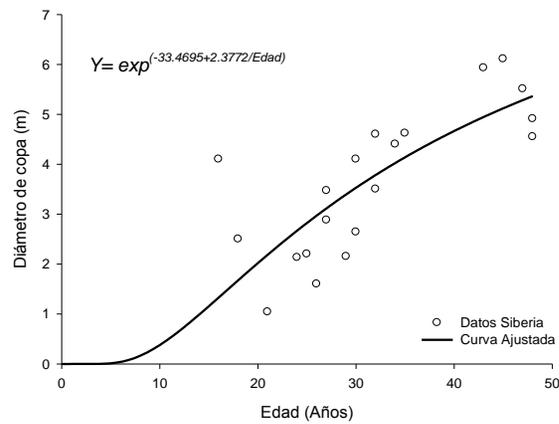
máxima de 50 años, determina que la especie de *P. johannis* presenta un buen crecimiento en diámetro de copa.

Mesa de las Tablas y Mesa del Rosario (Figura 9 B y C) a partir de los 10 años de edad las curvas de crecimiento comienzan a desarrollar un comportamiento ascendente, donde las dos poblaciones alcanzan su crecimiento máximo que sobre pasa los 6m a la edad de 111 y 168 años de edad respectivamente, con la diferencia que en la población Mesa del rosario la curva de crecimiento a partir de los 60 años de edad presenta discontinuidad.

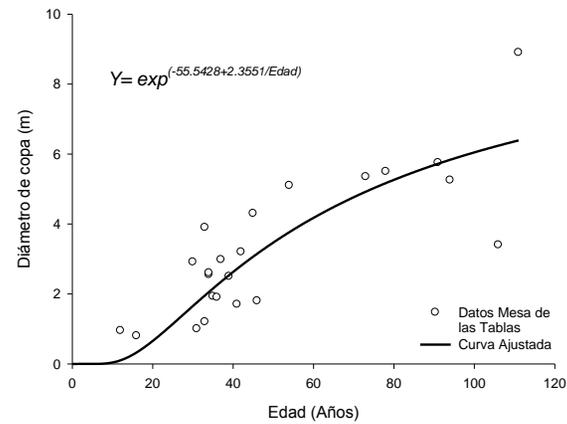
En Laguna de Sánchez y Concepción del Oro (Figura 9 E y F) la curva de crecimiento presenta un comportamiento ascendente a partir de los 5 años de edad donde dichas curvas sobre pasan los 5 m de diámetro de copa como crecimiento máximo a la edad de 91 y 99 años respectivamente.

El estudio de Guerrero (2013) sobre cuantificación de biomasa, carbono y producción de oxígeno en *Pinus cembroides* Zucc. En Mazapíl, Zacatecas, México, muestra como resultado, que los árboles analizados tienen una altura mínima de 2.02 m y una máxima de 4.01 m con una edad mínima de 56 años y una máxima de 104 años, presentando un diámetro de copa mínimo de 1.66 m y un máximo de 5.90 m, es decir que a la edad de 104 años *P. cembroides* presento un crecimiento máximo de 5.90 m, mientras que en la población San Antonio de la Osamenta (Figura 9 D) a partir de los primeros años de edad la curva de crecimiento comienza a desarrollarse de manera ascendente llegando a su máximo crecimiento que sobrepasa los 5 m de diámetro de copa a la edad de 108 años, por lo que indica que la especie *Pinus johannis* con respecto a la variable diámetro de copa ha presentado un buen crecimiento.

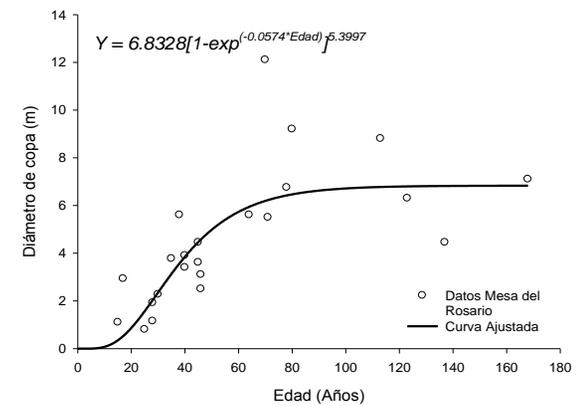
Las curvas ajustadas de incremento para la variable diámetro de copa dan a conocer que el cruce del ICA e IMA en las poblaciones Siberia, Mesa de las Tablas y Mesa del Rosario (Figura 11 A, B, y D) se presentan a partir de los 30 años de edad, y en las poblaciones Laguna de Sánchez y Concepción del Oro (Figura 11 E y F) el cruce del ICA e IMA se presentan a partir de los 20 años de edad.



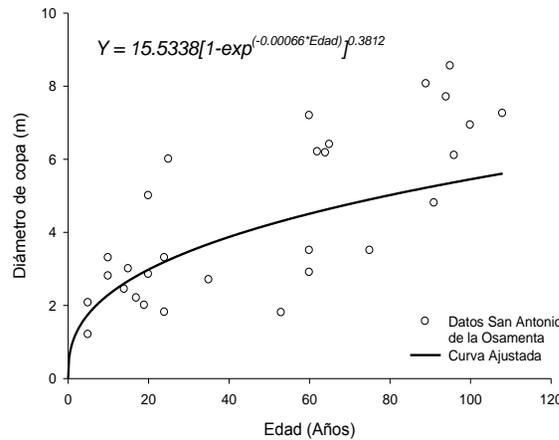
A) Siberia



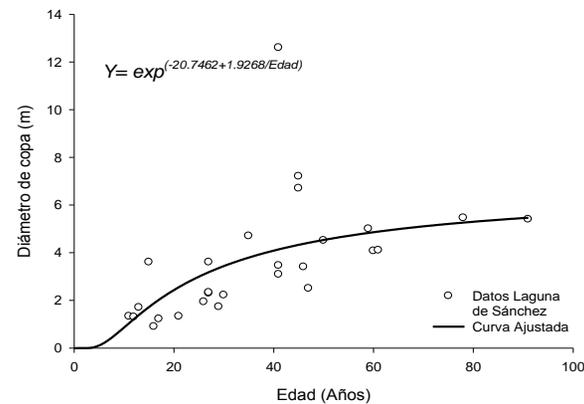
B) Mesa de las Tablas



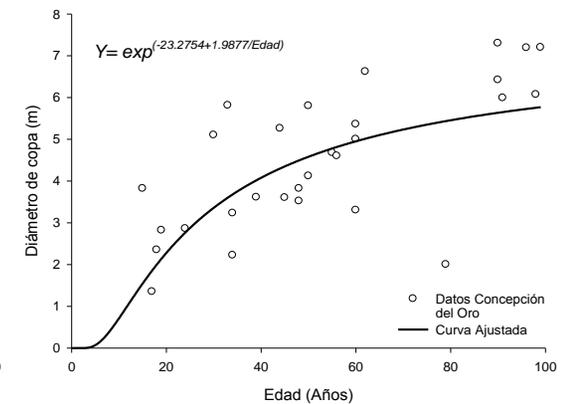
C) Mesa del Rosario



D) San Antonio de la Osamenta



E) Laguna de Sánchez



F) Concepción del Oro

Figura 9. Curva ajustadas de la relación edad-diámetro de copa de las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

Cabe mencionar que las curvas ajustadas de incremento para diámetro de copa en la población de San Antonio de la Osamenta (Figura 11 D) no se presentan de forma típica, debido a que no presenta curva de crecimiento sigmoideal, para generar dicha curva se utilizó el modelo de crecimiento Schumacher por ser el segundo mejor modelo de crecimiento (Apéndice 13), esto último con el fin de obtener las curvas típicas de ICA e IMA. La gráfica generada para dicha población (Figura 10) muestra que el ICA máximo se presenta a las edad de 10 años aproximadamente con un incremento de 0.24 m, mientras que el IMA máximo a la edad de 20 años con un incremento de 0.16 m, misma edad donde se genera el cruce de los incrementos

Mientras que en la población Siberia (Figura 11 A) presenta un ICA máximo a la edad de 15 años con un incremento de 0.17 m aproximadamente cuando la curva desciende se cruza con la curva de IMA la cual tiene su incremento máximo a la edad de 33 años de 0.12 m y el cruce se da a la edad de 33 años, donde posteriormente el ICA desciende llegando a un incremento de 0.06 m, mientras que el IMA se mantiene por encima de ella con un incremento de 0.1 m, convirtiéndose de las 6 poblaciones la que mayor incremento en diámetro de copa presenta.

En el estudio que realizó de Lucio (2011) sobre la sobrevivencia, crecimiento y arquitectura de copa en tres procedencias de *Pinus cembroides* Zucc en el CAESA, Arteaga, Coah., presenta el incremento que tuvo esta especie durante 17 años 8 meses. La primera procedencia es Concepción del Oro donde el *P. cembroides* en los primero 10 años el diámetro de copa se incrementó 0.78 m y en los siguientes 8 años se incrementó 0.85 m con un total de incremento de 1.63 m.

La segunda procedencia de Saltillo, en los primeros 10 años creció 0.68 m, mientras que en los 8 años siguientes incremento 0.96 m teniendo un total de 1.63 m y en la tercera procedencia Mazapil presentó un incremento en los primeros 10 años de 0.72 m y en los 8 años siguientes un incremento de 0.91.

Teniendo como resultado que el mayor incremento en diámetro de copa de *P. cembroides* se encontró en la tercera procedencia el cual fue de 1.64 m, y comparando con el resultado obtenido en este estudio donde el incremento máximo en diámetro de copa fue de 0.17 m a la edad de 15 años, la especie *Pinus johannis* presenta lento incremento con respecto a la variable diámetro de copa.

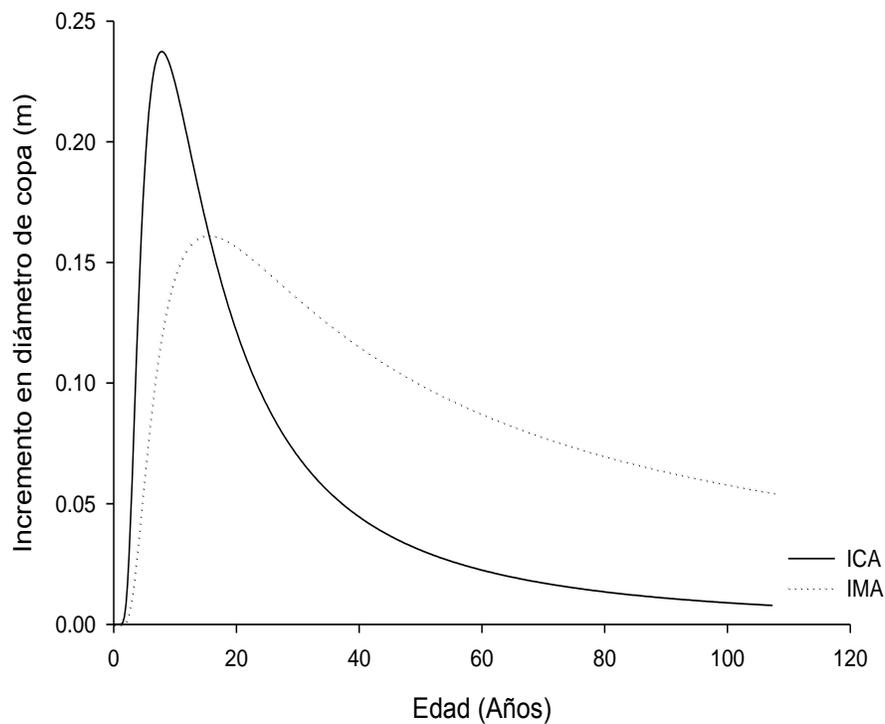
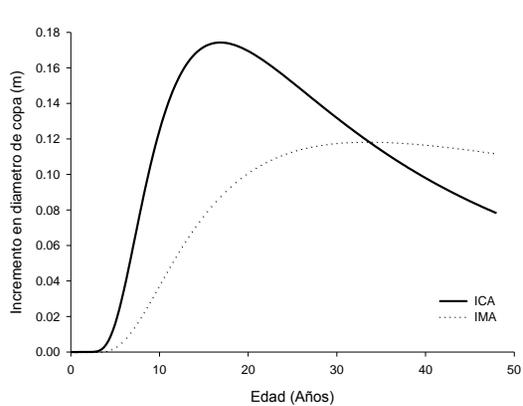
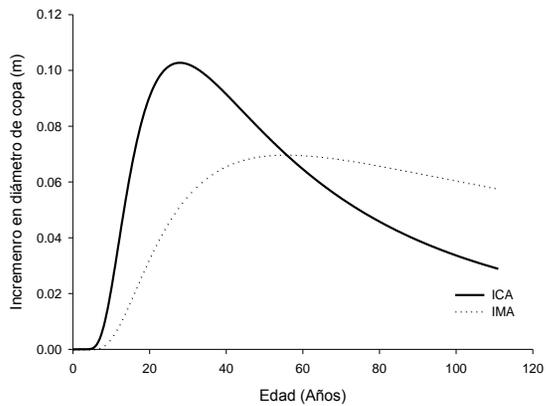


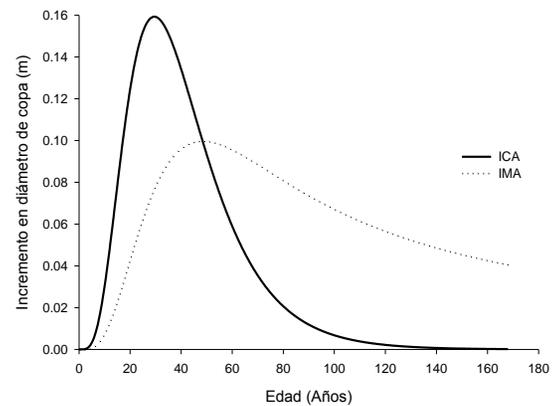
Figura 10. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro de copa de la población San Antonio de la Osamenta de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.



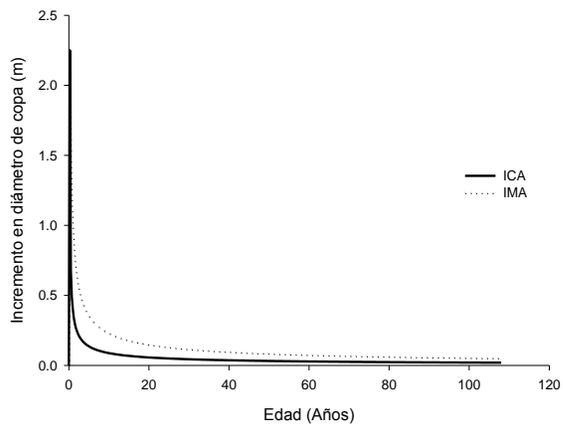
A) Siberia



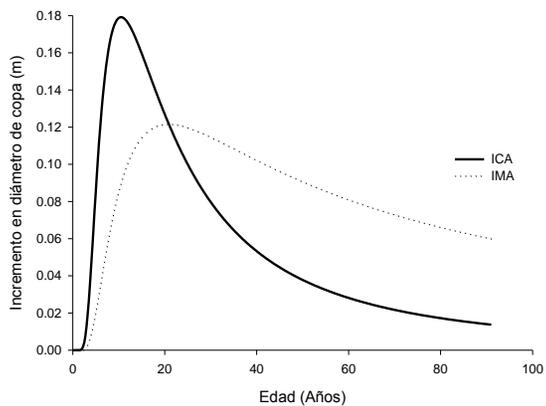
B) Mesa de las Tablas



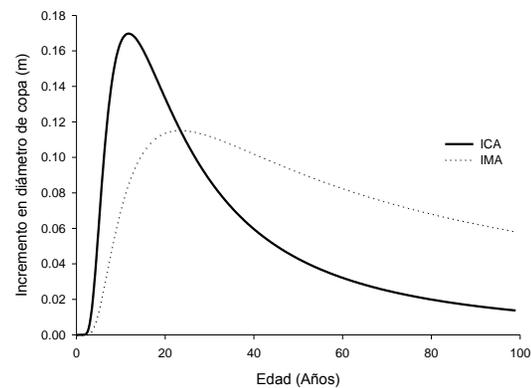
C) Mesa del Rosario



D) San Antonio de la Osamenta



E) Laguna de Sánchez



F) Concepción del Oro

Figura 11. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para la variable diámetro de copa de las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

4.3 Comparación de curvas de crecimiento entre géneros para las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

En este apartado se dan a conocer las curvas ajustadas generadas de acuerdo al mejor modelo de crecimiento que resultó en este estudio, el cual es el Schumacher, con el fin de hacer notar la respuesta de crecimiento entre géneros de las seis poblaciones con respecto al crecimiento de las variables de estudio.

Los individuos masculinos en este estudio presentan un mayor crecimiento en diámetro basal, altura y diámetro de copa que los individuos femeninos aun cuando este género en las seis poblaciones de *Pinus johannis* es mayor (81 individuos) que el género masculino (72 individuos) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores de las cantidades de masculinos y femeninos existen en cada población de *Pinus johannis*.

Población	Masculinos	Femeninos
Siberia	10	9
Mesa de las Tablas	10	14
Mesa del Rosario	13	11
San Antonio de la Osamenta	18	11
Laguna de Sánchez	11	17
Concepción del Oro	10	19
Total	72	81

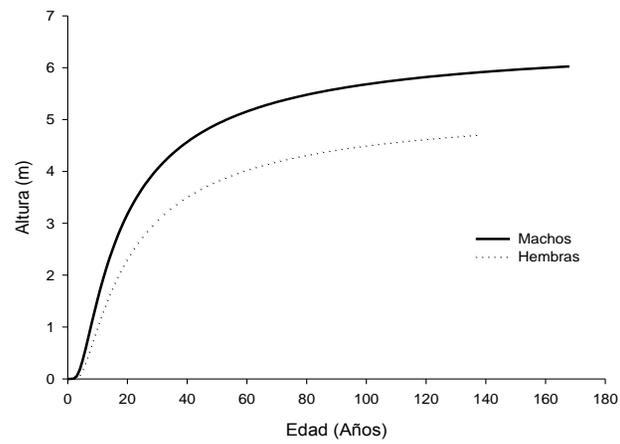
Nicotra (1999) menciona que el proceso de diferenciación sexual vegetativa en plantas dioicas pueden ser por efectos de reproducción o balance de recursos en el medio, mientras que Rozas *et al.* (2008) señalan que las diferencias en el factor de la dioecia pueden tener significancia en posteriores procesos de reproducción y/o el crecimiento, ya que los individuos femeninos en plantas

dioicas tienden a asignar mayor cantidad de recursos a la reproducción que al proceso de crecimiento.

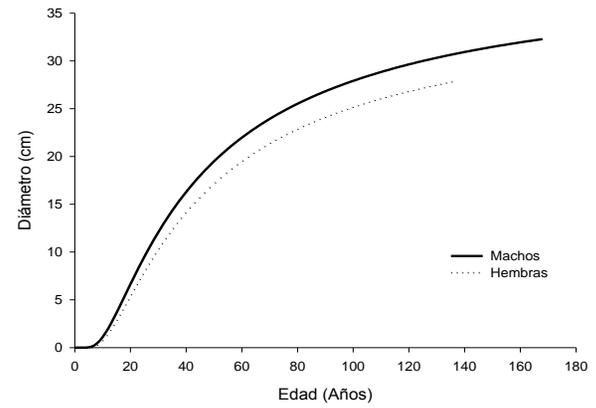
Montesinos (2007) en su estudio de *Juniperus thurifera* L, reafirma lo que los autores Nicotra (1999) y Rozas *et al.*, (2008) dicen sobre la dioecia, ya que realizó un análisis dendrocronológico de machos y hembras de *Juniperus thurifera* donde el resultado muestra que ambos sexos crecen de forma similar hasta la madurez reproductiva (aproximadamente 30 años) y desde ese momento los individuos masculinos crecen significativamente más que los individuos femeninos. Montesinos (*op cit*) llega a la conclusión que antes de la edad de madurez reproductiva ambos sexos invierten una cantidad similar de recursos al crecimiento, pero después de alcanzar la madurez reproductiva, ambos reducen su inversión vegetativa, presentando las hembras una reducción significativamente mayor. Pues los masculinos se pueden beneficiar de una inversión vegetativa mayor, ya que esto incrementaría su éxito polinizador, mientras que los femeninos aumentan su eficacia reproductiva cuando invierten en reproducción.

Las gráficas generadas muestran como en altura (Figura 12 A) las curvas de crecimiento de masculinos y femeninos dan a conocer el género masculino presenta mayor crecimiento con respecto a la variable altura que el género femenino, también se puede observar que en ambos géneros existe poca similitud en crecimiento con respecto al diámetro (Figura 12 B) y a pesar de que el género masculino presenta un poco más crecimiento en diámetro de copa que el género femenino, se puede observar que en ambos existe poca similitud de acuerdo al crecimiento de la variable de estudio (Figura 12 C).

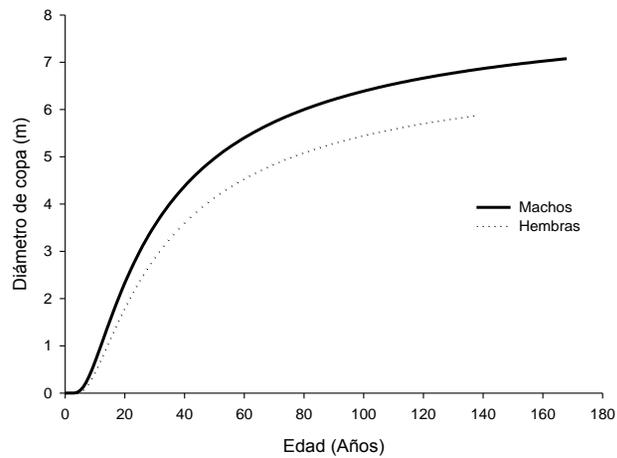
Los resultados obtenidos en este estudio con respecto a la comparación de géneros de acuerdo a su crecimiento en altura, diámetro y diámetro de copa, ayudan a ratificar la conclusión que Montesinos (2007) realizó en su estudio



A) Altura



B) Diámetro basal



C) Diámetro de copa

Figura 12. Comparación de curvas ajustadas con respecto a la variables de estudio para los sexos masculino y femenino de las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

5. CONCLUSIONES

Para este estudio de crecimiento e incremento con taladro de Pressler, en seis poblaciones de *Pinus johannis* del Noreste de México, se concluye:

- El mejor modelo de crecimiento para las variables de estudio es el Schumacher.
- Se lograron generar curvas de crecimiento sigmoidales.
- Si las curvas de crecimiento son sigmoidales se generan las curvas típicas de ICA e IMA típicos.
- Los individuos masculinos presentaron mayor crecimiento con respecto a los individuos femeninos.
- Se considera que la especie es de lento crecimiento.

6. RECOMENDACIONES

- Se sugiere ampliar la base de datos obteniendo mayor número de muestras de todas las poblaciones de *Pinus johannis*, para dar seguimiento a las mismas poblaciones evaluadas y así contribuir a la conservación y protección de la especie.
- Para una mayor visibilidad de los anillos en las virutas, es necesario lijar las muestras con hojas de lija fina para madera y aplicar un compuesto aclarador para madera.
- Colocar las virutas en popotes después de su extracción en campo para protección y conservación de las mismas.
- Aplicar los modelos de crecimiento que presentaron mejores ajustes en el presente trabajo para posteriores estudios de crecimiento e incremento referentes a las áreas estudiadas.
- Realizar más estudios referentes al crecimiento e incremento de la especie *Pinus johannis*.

7. LITERATURA CITADA

- Adlard, P. G. 1983. Clases de modelos de crecimiento de masas forestales y tipos de variables necesarias para su calibración. *In*: Primera reunión sobre modelos decrecimiento de árboles y masas forestales. Subsecretaria Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SARH. Publicación especial No 44. pp. 47-53.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento; con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. FAO Montes. Estudio 22/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 118 p.
- Aldrete M., E. 1981. Estudio ecológico de los agostaderos del Noroeste del estado de Zacatecas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Aguilar R., M. y S. Aguilar, D. 1991. Determinación de la calidad de estación en los bosques de la comunidad indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán. *Ciencia Forestal*. México. 16 (69): 35-57.
- Aguilar R., M. 1997. Estudio de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roetzl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal*. 22 (81). 11 – 40 p.
- Aguirre C., O. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a sitios temporales de muestreo. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el Noreste de México. Reporte Científico No.24. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N.L. México. 43 p.
- Arriaga L., J. M. Espinoza., C. Aguilar., E. Martínez., L. Gómez., y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Sierra La Paila. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. 339-341 p.
- Arteaga M., B. 2000. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de Pinos en Ayotoxtla, Guerrero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 6 (2): 151-157.

- Benavides S., J. de D. 1991. Índices de sitio para estimar la calidad de sitio en bosques de coníferas. *Ciencia Forestal*. 16 (69): 1 – 34.
- Benavides S., J. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de la “calidad de sitio mediante “índices de sitio” de *Pinus michoacana* var. *Cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Shiede, para el ADF Tapalpa, estado de Jalisco. *Ciencia Forestal*. 18 (74): 120 – 138.
- Caballero D., M. Avila R. R. 1989. Importancia actual y potencial de los pinos piñoneros en México. In: *Memorias 3^{er} Simposium Nacional sobre Pinos Piñoneros* Flores F., J.D.; J. Flores L.; E. García. M.; R.H. Lira. S. (Eds.). Universidad Autónoma Agraria Antonio narro. Saltillo, Coahuila, México. pp. 153-156.
- Castaños M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el Norte de Oaxaca. *Boletín Técnico*. No. 2. INIF. México D.F. 32 p.
- Corral R., S. y J. J. Nívar Ch. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques*. 11(1): 29-47.
- Cortés M., J. P. 2010. Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 73 p.
- Cruz C., F. 2007. Modelos de volumen y crecimiento en altura dominante para *Pinus cooperi* Blanco en el estado de Durango, México. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo de México. 69 p.
- De la Cruz F., M. A. 2010. Estudio epidométrico en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. En el CAESA, los Lirios, Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 68 p.
- Diehl, R., y J. M. Mateo. 1978. *Fitotecnia general*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 106 p.
- Eguiluz P., T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Ciencia Forestal*. México. 7 (38): 30-44.

- Eguiluz P., T. 1984. Conservación de las gimnospermas mexicanas: un asunto controversial. México. *Dasonomía Mexicana* 4 (2): 17-31.
- Eguiluz P. T., A. Niembro R. y J. A. Pérez R. 1985. Estudio morfológico de siete especies de pinos piñoneros mexicanos. In: Memorias del primer simposio nacional sobre pinos piñoneros. Reporte Científico, Número Especial 2. Facultad de Silvicultura, U.A.N.L. pp. 53-68.
- Eguiluz P., T. 1987. Los pinos mexicanos y su demanda internacional. In: Simposio sobre silvicultura y mejoramiento genético de especies forestales. CIEF. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-28.
- Farjon, A., J. A. Pérez de la Rosa y B. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y de América central. The Royal Botanical Garden, Kew and the University of Oxford. Oxford, UK. 146 p.
- Flores R., L. J. 1983. Situación actual de los estudios de crecimiento en masas forestales en México. *In: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales.* Subsecretaría Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SARH. Publicación especial No 44. 5-8 p.
- García A., A. y M.-F. Passini. 1993. Distribución y ecología de *Pinus johannis* M.-F. Robert. *Phytologia* 74 (2): 125-127.
- García, E. 1998. [En línea]. Climas, clasificación de Köppen modificado por García, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Escala 1: 1000000. México. 2001. [Fecha de consulta 05 de noviembre de 2015]. Disponible en: <<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>>.
- González L., H. D. 1997. Calidad de sitio, crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis profesional. U.A.A.A.N., Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 70 p.
- Groothousen, C. 1983. Investigación del crecimiento del bosque de pino en Honduras. *In: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masa forestales.* Publicación especial No. 44. SARH, Subsecretaría

- Forestal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F. pp. 23-31.
- Guerrero S., L. P. 2013. Cuantificación de biomasa, carbono y producción de oxígeno en *Pinus cembroides* Zucc. en Mazapíl, Zacatecas, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 42 p.
- Hartmann, H., Kester. E. 1981. Propagación de plantas: principios y prácticas. Segunda edición. C.E.C.S.A., México, D.F. 226 p.
- Hernández L., I. 2003. Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 81 p.
- Hocker, H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. 446 p.
- Hush, B., C. I. Miller y T. W. Beers. 1982. Forest Mensuration. John Wiley and Sons. USA. 402 p.
- Kozlowski, T. T. 1991. Fisiología del crecimiento del árbol. *In*: Introducción a las ciencias forestales. Editor: Young, R. A. Limusa. México, D.F. 95-118 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Lucio D., C. 2011. Supervivencia, crecimiento y arquitectura de copa en tres procedencias de *Pinus cembroides* Zucc. en el CAESA, Arteaga, Coah. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 71 p.
- Madrigal H., S. y H. Ramírez M. 1995. Comparación de nueve modelos empíricos para la acción de índice de sitio en Michoacán. Ciencia Forestal. 20 (78): 19-38.
- Mares A., O. 2003. Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 83 p.

- Monroy R., C. R. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et. Cham. En la región de Huayacocotla, estado de Veracruz. *Ciencia Forestal en México* 21 (80): 57-78.
- Mosseler, A. 1998. Minimum viable population size and the conservation of forest genetic resources. Chapter 13. In: S. Puri (Ed.). *Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer*. Science Publishers, Inc. U.S.A. pp.191-205 p.
- Mosseler, A. and Rajora, O. P. 1998: Monitoring population viability in declining tree species using indicators of genetic diversity and reproductive success, in Sassa K (Ed) *Environmental Forest Science*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, the Netherlands. pp. 333-344.
- Monárrez G., J. C y H. Ramírez M. 2003. Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de *Pinus duranguensis* Martínez. En el estado de Durango. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 9(1). 45-56.
- Montesinos T., D. 2007. *Juniperus thurifera*: una especie dioica, vecera y relíctica. Alicante, España. *Ecosistemas*. 16 (3): 169-182 .
- Montero M., M. y A. M. Fierros G. 1995. Predicción de crecimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr y Golf. en la Sabana, Oaxaca, México. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo*. Chapingo, México1 (1): 55-63.
- Narváez F., R. 1992. Suelo – calidad de estación en el área experimental forestal Madera, Chihuahua. *Ciencia Forestal*. 17 (71): 1-19.
- Nepamuceno M., F., L. P. De la Garza., C. R. Reyes. 1987. Caracterización radiográfica en la morfología y germinación de *Pinus cembroides* succ. Y *Pinus johannis* M.-F. Robert. In: *Memorias del II Simposio Nacional sobre pinos piñoneros*. M. F. Passini, D. Cibrián T. y T. Eguiluz P. Centre d'Estudes Mexicaines et Centroamericaines, U.A.C.H. y Centro de Genética Forestal A. C. México. 233-240p.
- Nicotra A. B. 1999. Sexually dimorphic growth in the dioecious tropical shrub, *Siparuna grandiflora*. *Functional Ecology* 13 (3): 322–331.

- Padilla G., H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Ed. Limusa. México. 273 p.
- Passini, M-F. 1985. Algunas consideraciones acerca de los piñoneros en México. 1er Simposium Nacional sobre pinos piñoneros. Universidad Autónoma de Nuevo León. In IX Congreso Forestal Nacional, memorias Linares, Nuevo León, del 10, 11 y 12 de junio de 1985. Universidad Autónoma de Nuevo León, facultad de silvicultura y manejo de recursos renovables, Linares, Nuevo León. pp. 130-136.
- Pereyra G., J. A. 2003. Estudio epidométrico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 130 p.
- Perry, J., P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon, U.S.A. 231 p.
- Prodan, M., R. Peters. F. Cox y P. Real. 1997. Mensura Forestal. IICA-GTZ. Serie de investigación y desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 560 p.
- Ramamoorthy T. P., R. Bye, A. Lot y J. FA. 1993. Biological diversity of Mexico. Origins and Distribution Oxford University Press. New York. 397-420 p.
- Ratkowsky, D.A. 1983. Nonlinear regression modeling: a unified practical approach. 1st ed. Marcel Dekker, Inc. New York. Vol. 48. 276 p.
- Robert, M. F. 1978. New pinion pine mexicana, *Pinus johannis* M. F. Robert. Adansonia, ser. 2, 18 (3): 365 – 367 p.
- Romero, A., M. Luna, E. García, and M. F. Passini. 2000. Análisis fenético de los pinos piñoneros en el interior de México, *Pinus cembroides* y *Pinus johannis*. Botanical Journal of the Linnean Society. 133: 181-194 p.
- Romero-Gutiérrez, y. E. y H. Ramírez-Maldonado. 1997. Análisis de crecimiento de *Pinus patula* Sch. Et Cham. En plantaciones en Huayacocotla, Veracruz. Revista Chapingo, Serie Ciencia Forestales y del medio ambiente. División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 3 (2): 145-148.

- Romero-Manzanares, A., y E. García-Moya. 2002. Estabilidad y elasticidad de la composición florística de los piñonares de San Luis Potosí, México. *Agrociencia*. 36: 243-254.
- Rosas, R. C. O. y H.J. López. 2002. Distribución y estado de conservación del jaguar en Nuevo León. In: *El jaguar en el nuevo milenio* (R.A Medellín et al., eds). Fondo de cultura económica-Universidad Nacional Autónoma de México-Wildlife Conservation Society. pp 393-401.
- Rozas V, Olano JM, De Soto L, Bartolomé D. 2008. Large-scale structural variation and long term growth dynamics of *Juniperus thurifera* trees in a managed woodland in Soria, central Spain. *Annals of Forest Science*. 65 (8): 809, 10 p.
- SEMARNAT.2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental – especies nativas de México de flora y fauna silvestre – categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. D.O.F.30 de diciembre de 2010. México. 65 p.
- Sit, V. and M. Poulin-Costello.1994. Catalog of curves for curve fitting. Biometrics information handbook series. Handbook No.4. Province of British Columbia. Forest Science Research Branch. Victoria, B. C. 110 p.
- Sosa A., M. A. 2001. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et 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.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa. México, D.F. 472 p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International. UK. 312 p.
- Villa S., A. B. 1963. Cálculo de incremento en los bosques de coníferas. Boletín técnico No 11. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Subsecretaria de Recursos Forestales y de Caza. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México.36 p.

- Villanueva D., J. J., Cerano P, D.W. Stahle, M. D. Therrel, M. K. Cleaveland e I. Sánchez C. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Folleto Técnico No 2. INIFAP, CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 37 p.
- Willan R. L. (compilador). 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales; con referencia especial a los trópicos. 20/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 502 p.
- Whitham .G. & S. Mopper, 1985. Herbivoría crónica: impactos en la arquitectura y el sexo expresión de pino piñonero. *Science*, 228:1089-1091.
- Zamudio S., F. J. y D. Ayerde L. 1997. Modelos de crecimiento. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales* 1:79-87.
- Zepeda, B. E. M. y P. Rivero B. 1984 Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal*. 51 (9): 1 – 38.

8. APÉNDICE

Apéndice 1. Modelo de crecimiento Schumacher para altura, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros	
							b0	b1
SIB	$Y = \exp^{(b1+b0/E)}$	0.95329859	0.948109175	304.1	14.2019	0.789	2.1906	-26.8905
MT	$Y = \exp^{(b1+b0/E)}$	0.92333565	0.916366495	330.7	25.3529	1.1524	1.9246	-29.352
MR	$Y = \exp^{(b1+b0/E)}$	0.89227924	0.882484516	565.1	60.873	2.767	1.8067	-13.3466
SAO	$Y = \exp^{(b1+b0/E)}$	0.87255002	0.863785112	984.7	125.5	4.3268	2.0073	-11.6563
LS	$Y = \exp^{(b1+b0/E)}$	0.91773381	0.911408907	395.2	32.5116	1.2504	1.8354	-19.1118
CON	$Y = \exp^{(b1+b0/E)}$	0.91893983	0.913534884	344	27.8847	0.9295	1.5006	-15.7254

Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1= parámetros de regresión; E= edad; Exp= número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez, CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 2. Modelo de crecimiento Weibull (modified) para altura, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros	
							b0	b1
SIB	$Y = 1 - \exp^{-b0(E^{b1})}$	0.41828346	0.35365998	304.1	176.9	9.8276	9.77E-06	4.4436
MT	$Y = 1 - \exp^{-b0(E^{b1})}$	0.41880859	0.365810705	330.7	192.2	8.7386	0.8612	0.8167
MR	$Y = 1 - \exp^{-b0(E^{b1})}$	0.34011679	0.280033976	565.1	372.9	16.9522	0.2142	1.5192
SAO	$Y = 1 - \exp^{-b0(E^{b1})}$	0.28688941	0.237728039	984.7	702.2	24.2132	0.3888	1.4646
LS	$Y = 1 - \exp^{-b0(E^{b1})}$	0.41422065	0.369100202	395.2	231.5	8.9047	0.000003	5.6879
CON	$Y = 1 - \exp^{-b0(E^{b1})}$	0.47965116	0.444967442	344	179	5.9666	1.77E-06	5.0916

Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1= parámetros de regresión; E= edad; Exp= número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 3. Modelo de crecimiento Chapman-Richard's para altura, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros		
							b0	b1	b2
SIB	$Y = b_0[1 - \exp^{-b_1 E}]^{b_2}$	0.95506182	0.947129234	304.1	13.665	0.8039	9.1324	0.0209	1.2291
MT	$Y = b_0[1 - \exp^{-b_1 E}]^{b_3}$	0.92436922	0.913565165	330.7	25.011	1.191	5.1516	0.0461	2.5121
MR	$Y = b_0[1 - \exp^{-b_1 E}]^{b_4}$	0.9018694	0.887852769	565.1	55.453	2.6406	5.2665	0.0851	3.7844
SAO	$Y = b_0[1 - \exp^{-b_1 E}]^{b_5}$	0.88524424	0.872921093	984.7	113	4.0366	16.3093	0.00064	0.3352
LS	$Y = b_0[1 - \exp^{-b_1 E}]^{b_6}$	0.91600127	0.905918016	395.2	33.196	1.3279	27.6232	0.00067	0.5821
CON	$Y = b_0[1 - \exp^{-b_1 E}]^{b_7}$	0.92328605	0.915348837	344	26.389	0.91	9.052	0.00103	0.3699

Dónde: y = variable de estudio; b0, b1, b2 = parámetros de regresión; E= edad; Exp = número elevado al exponente; SIB = Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 4. Modelo de crecimiento Schumacher para diámetro basal, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros	
							b0	b1
SIB	$Y = \exp^{(b_1 + b_0/E)}$	0.93751237	0.930581326	4546.5	284.1	15.7806	3.739	-33.9475
MT	$Y = \exp^{(b_1 + b_0/E)}$	0.91455629	0.906784209	7518.4	642.4	29.2014	4.0493	-63.3033
MR	$Y = \exp^{(b_1 + b_0/E)}$	0.94643323	0.941558893	8430.6	451.6	20.5289	3.7024	-45.8484
SAO	$Y = \exp^{(b_1 + b_0/E)}$	0.79670187	0.782685492	11552	2348.5	80.9812	3.4392	-24.4469
LS	$Y = \exp^{(b_1 + b_0/E)}$	0.91046115	0.903578372	6913.2	619	23.8065	3.5461	-31.6263
CON	$Y = \exp^{(b_1 + b_0/E)}$	0.91744322	0.911941249	12963.2	1070.2	35.6726	3.7294	-38.4049

Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1= parámetros de regresión; E= edad; Exp= número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 5. Modelo de crecimiento Weibull (modified) para diámetro basal, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros	
							b0	b1
SIB	$Y = 1 - \exp^{-b_0(E^{b_1})}$	0.11864071	0.020785219	4546.5	4007.1	222.6	0.2102	1.478
MT	$Y = 1 - \exp^{-b_0(E^{b_1})}$	0.08887529	0.005958715	7518.4	6850.2	311.4	0.5981	1.1688
MR	$Y = 1 - \exp^{-b_0(E^{b_1})}$	0.0904562	0.007899794	8430.6	7668	348.5	0.3791	1.3192
SAO	$Y = 1 - \exp^{-b_0(E^{b_1})}$	-0.08989358	-0.06899577	10599.2	11552	365.5	5.1323	0.6236
LS	$Y = 1 - \exp^{-b_0(E^{b_1})}$	0.10602905	0.037262049	6913.2	6180.2	237.7	0.1335	1.8389
CON	$Y = 1 - \exp^{-b_0(E^{b_1})}$	0.08599728	0.025178968	12963.2	11848.4	394.9	0.4147	1.3223

Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1= parámetros de regresión; E= edad; Exp= número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 6. Modelo de crecimiento Chapman-Richard's para diámetro basal, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros		
							b0	b1	b2
SIB	$Y = b_0 \left[1 - \exp^{-b_2 \left(\frac{E}{b_1} \right)^{b_3}} \right]$	0.94094358	0.93052501	4546.5	268.5	15.7934	375	0.00145	1.7321
MT	$Y = b_0 \left[1 - \exp^{-b_2 \left(\frac{E}{b_1} \right)^{b_3}} \right]$	0.91629868	0.90434794	7518.4	629.3	29.9646	37.5763	0.026	2.6959
MR	$Y = b_0 \left[1 - \exp^{-b_2 \left(\frac{E}{b_1} \right)^{b_4}} \right]$	0.94585202	0.9381217	8430.6	456.5	21.7363	31.7256	0.0223	1.7545
SAO	$Y = b_0 \left[1 - \exp^{-b_2 \left(\frac{E}{b_1} \right)^{b_5}} \right]$	0.80400796	0.78301341	11552	2264.1	80.859	73.2877	0.00069	0.4572
LS	$Y = b_0 \left[1 - \exp^{-b_2 \left(\frac{E}{b_1} \right)^{b_6}} \right]$	0.91174854	0.90116403	6913.2	610.1	24.4026	60.7606	0.00658	0.9791
CON	$Y = b_0 \left[1 - \exp^{-b_2 \left(\frac{E}{b_1} \right)^{b_7}} \right]$	0.91876234	0.91035818	12963.2	1053.1	36.3139	35.3788	0.021	1.4724

Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1, b2= parámetros de regresión; E= edad; Exp= número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 7. Modelo de crecimiento Schumacher para diámetro de copa, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros	
							b0	b1
SIB	Y= exp ^(b1+b0/E)	0.93779778	0.93088715	306.6	19.0712	1.0595	2.3772	-33.4695
MT	Y= exp ^(b1+b0/E)	0.89310827	0.88339416	328.8	35.146	1.5975	2.3551	-55.5428
MR	Y= exp ^(b1+b0/E)	0.84743743	0.83350894	671.2	102.4	4.6562	2.2263	-34.8206
SAO	Y= exp ^(b1+b0/E)	0.85783201	0.84801731	704.8	100.2	3.4554	1.9115	-15.4196
LS	Y= exp ^(b1+b0/E)	0.77608486	0.75896239	518.5	116.1	4.4635	1.9268	-20.7462
CON	Y= exp ^(b1+b0/E)	0.91339087	0.90761645	683.1	59.1627	1.9721	1.9877	-23.2754

Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1= parámetros de regresión; E= edad; Exp= número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 8. Modelo de crecimiento Weibull (modified) para diámetro de copa, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*

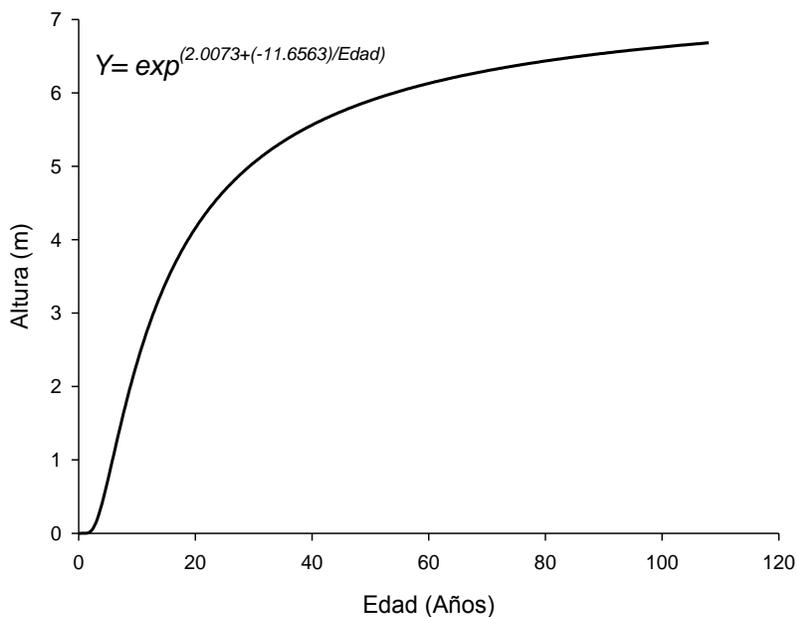
POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros	
							b0	b1
SIB	Y = 1-exp ^{(-b0(E^{b1}))}	0.41030659	0.34495108	306.6	180.8	10.0419	0.000385	3.4292
MT	Y = 1-exp ^{(-b0(E^{b1}))}	0.37591241	0.31915328	328.8	205.2	9.3276	0.0435	1.5534
MR	Y = 1-exp ^{(-b0(E^{b1}))}	0.28605483	0.22113707	671.2	479.2	21.7822	0.000039	3.8515
SAO	Y = 1-exp ^{(-b0(E^{b1}))}	0.3237798	0.27711237	704.8	476.6	16.4352	0.0229	2.6207
LS	Y = 1-exp ^{(-b0(E^{b1}))}	0.33037608	0.27879344	518.5	347.2	13.3552	6.77E-06	4.9964
CON	Y = 1-exp ^{(-b0(E^{b1}))}	0.35353535	0.31046113	683.1	441.6	14.7195	1.60E-06	5.3456

Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1= parámetros de regresión; E= edad; Exp= número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.

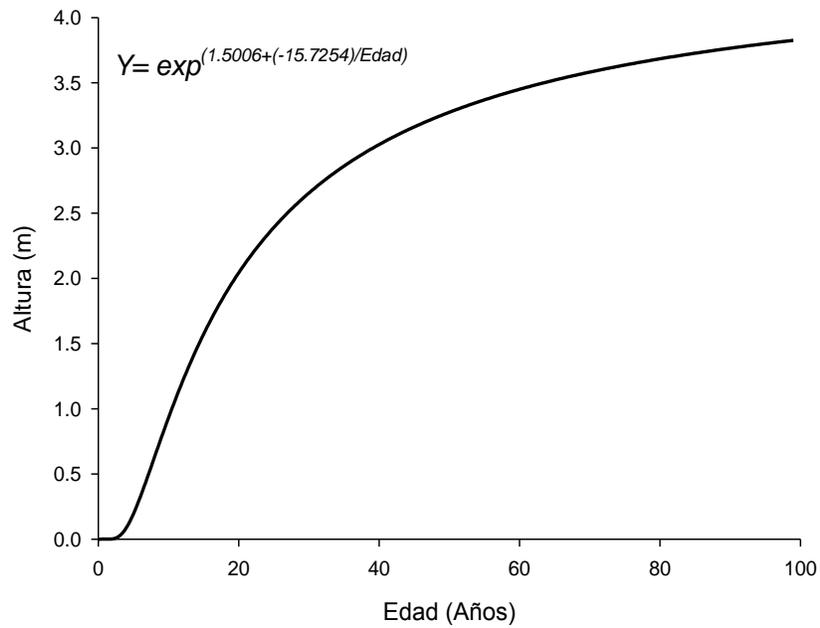
Apéndice 9. Modelo de crecimiento Chapman-Richard's para diámetro de copa, parámetros de regresión y estadísticos de comparación para las seis poblaciones de *Pinus johannis*.

POBLACIÓN	Ecuación	R ²	R ² _{Adj}	SCT	SCE	CME	Parámetros		
							b0	b1	b2
SIB	$Y = b_0[1 - \exp_{b_1 \cdot E}^{-b_2}]$	0.89621592	0.87789954	306.6	31.820	1.8718	33.6676	0.00226	0.9221
MT	$Y = b_0[1 - \exp_{b_1 \cdot E}^{-b_3}]$	0.89433759	0.87924088	328.8	34.741	1.6544	6.9213	0.0301	2.7241
MR	$Y = b_0[1 - \exp_{b_1 \cdot E}^{-b_4}]$	0.858927	0.83877235	671.2	94.688	4.509	6.8328	0.0574	5.3997
SAO	$Y = b_0[1 - \exp_{b_1 \cdot E}^{-b_5}]$	0.87162159	0.85786535	704.8	90.481	3.2315	15.5338	0.00066	0.3812
LS	$Y = b_0[1 - \exp_{b_1 \cdot E}^{-b_6}]$	0.78244937	0.7564243	518.5	112.8	4.5105	5.058	0.0777	3.4951
CON	$Y = b_0[1 - \exp_{b_1 \cdot E}^{-b_7}]$	0.9158845	0.90718079	683.1	57.4593	1.9814	17.5149	0.00104	0.4929

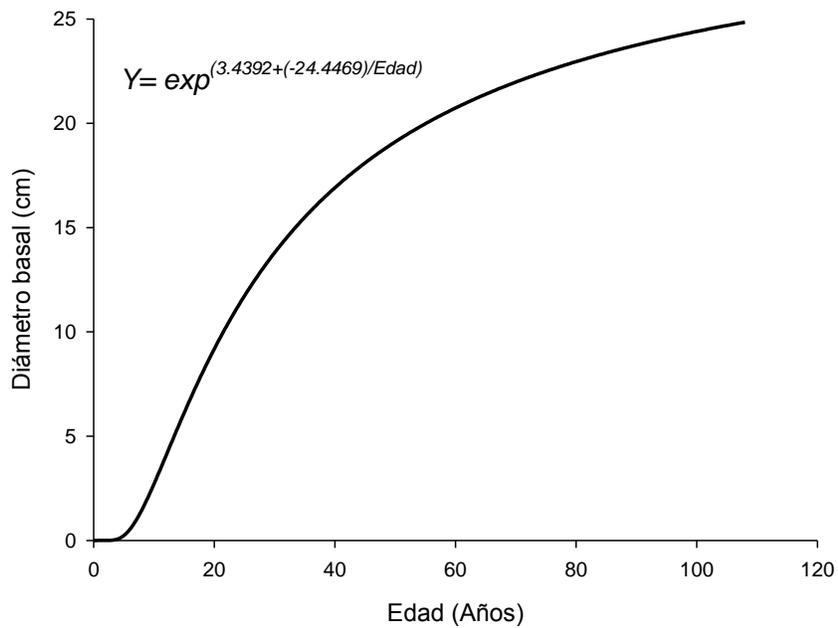
Dónde: Y= variable de estudio; b0, b1, b2= parámetros de regresión; E= edad, Exp = número elevado al exponente; SIB= Siberia; MT= Mesa de las Tablas; MR= Mesa del Rosario; SAO= San Antonio de la Osamenta; LS= Laguna de Sánchez; CON= Concepción del Oro; R²= Coeficiente de determinación; R²_{Adj}=Coeficiente de determinación ajustado; SCT= Suma de Cuadrados Totales; SCE= Suma de Cuadrados Residuales y CME= Cuadrado medio del error.



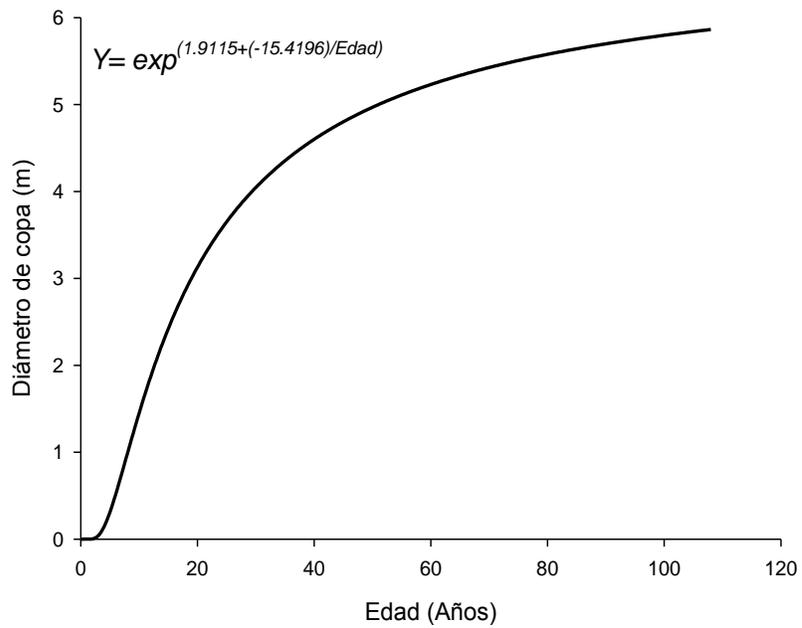
Apéndice 10. Curva ajustada de crecimiento para la variable altura de la población San Antonio de la Osamenta de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.



Apéndice 11. Curva ajustada de crecimiento para la variable altura de la población Concepción del Oro de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.



Apéndice 12. Curva ajustada de crecimiento para la variable diámetro basal de la población San Antonio de la Osamenta de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.



Apéndice 13. Curva ajustada de crecimiento para la variable diámetro de copa de la población San Antonio de la Osamenta de *Pinus johannis*, con el modelo de crecimiento Schumacher.