

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Análisis del Incremento Radial de Tres Coníferas a Diferente Gradiente Altitudinal, en  
Bocoyna Chihuahua

Por:

**FERNANDO ALBERTO DORANTES GARCÍA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Análisis del Incremento Radial de Tres Coníferas a Diferente Gradiente Altitudinal, en  
Bocoyna Chihuahua

Por:

**FERNANDO ALBERTO DORANTES GARCÍA**

TESIS

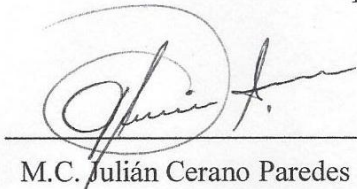
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

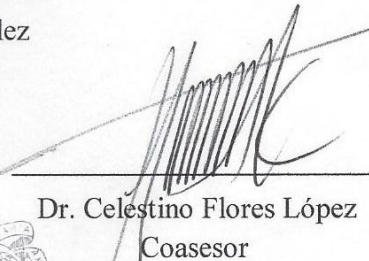
Aprobada por el Comité de Asesoría:



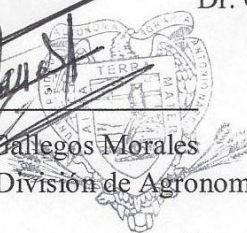
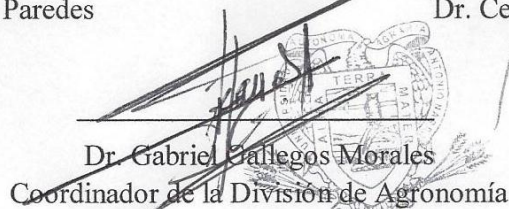
Dr. Jorge Méndez González  
Asesor Principal



M.C. Julián Cerano Paredes  
Coasesor



Dr. Celestino Flores López  
Coasesor



Dr. Gabriel Pallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía  
Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2016

El presente trabajo fue posible gracias al financiamiento otorgado del proyecto:  
VARIABILIDAD CLIMÁTICA E INTERACCIÓN CON OTROS FACTORES QUE  
AFECTAN LA DINÁMICA POBLACIONAL DE DESCORTEZADORES EN BOSQUES  
AMENAZADOS DE MÉXICO. Con registro: CONAFOR - 2014, C01 - 234547.

## DEDICATORIA

**A mi madre,** *mujer que nunca se rinde y siempre da lo mejor de sí para sus seres queridos, gran fuente de inspiración para mi desarrollo profesional.*

*Catalina García López.*

**A mi padre y hermano,** *por todo su apoyo y motivación que siempre me dieron durante toda mi carrera.*

*Octavio Dorantes Hernández y Edgar G. Dorantes García.*

**A mi hermano y cuñada,** *por todo su apoyo, consejos y por traer al mundo a mi sobrino.*

*Cristhian O. Dorantes García y Leydiana Y. Lucero Epitacio*

**A mi tío,** *por todo su apoyo y consejos claves para mi desarrollo profesional.*

*Rubén García López*

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, mi “Alma Mater” por permitir llevar a cabo mi formación profesional, llevándome grandes amistades y experiencias.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT)**, por la beca otorgada para la realización del presente trabajo.

**Al M.C. Julián Cerano Paredes**, por todo el apoyo y enseñanzas que recibí desde las estancias realizadas al laboratorio de dendrocronología del INIFAP, hasta la realización del presente trabajo. A su esposa la M.C. Rosalinda Cervantes, por todo el apoyo y enseñanzas, pero sobre todo por brindarme su confianza y amistad que recibí de los dos.

**Al Dr. Jorge Méndez González**, por todo su apoyo profesional, enseñanzas y consejos durante mi formación, además por su constante disposición, aportación y revisión del presente trabajo.

**Al Dr. Celestino Flores López**, por valiosas enseñanzas durante mi formación, además de la aportación y revisión del presente trabajo.

**Al M.C. Gerardo Esquivel Arriaga**, por el apoyo, confianza y amistad que recibí durante mis estancias al INIFAP, y aportación del presente trabajo.

**Al equipo de trabajo del laboratorio de dendrocronología (INIFAP CENID - RASPA),**

**Al Dr. José Villanueva Díaz**, por permitirme trabajar en las instalaciones del laboratorio, además de invitarme a colectas, las cuales enriquecen el conocimiento de la dendrocronología. Al Sr Luis y Sr Montes, por esa gran amistad y enseñanzas.

**A mis amigos (as)**, Ana, Liz, Claudia, Angy, Lulú, Marichuy, Gabriel, Daniel, Uriel, Isait y Chuy, todos aquellos con los que tuve privilegio de compartir grandes momentos en diferentes etapas de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
RESUMEN .....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
3.1. Características del área de estudio .....	5
3.2. Estudios dendrocronológicos afines en América latina .....	6
3.3. Descripción de las especies de estudio. ....	7
3.3.1. <i>Pinus arizonica</i> Engelmanni .....	7
3.3.2. <i>Pinus engelmannii</i> Carrière .....	8
3.3.3. <i>Pinus durangensis</i> Martínez .....	8
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
4.1. Descripción del área de estudio .....	9
4.2. Características físicas.....	10
4.2.1. Clima .....	10
4.2.2. Suelos .....	11
4.3. Trabajo de campo.....	11
4.5. Pre - fechado de crecimientos anuales .....	13
4.6. Medición de los anillos de crecimiento y verificación del fechado.....	14
4.7. Calculo de variables dasométricas .....	14
4.7.1. Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ) .....	14
4.7.2. Densidad (árboles $ha^{-1}$ ) .....	15
4.8. Análisis del incremento radial .....	15
4.9. Curvas de crecimiento diamétrico .....	16
4.10. Análisis estadístico .....	16

4.10.1. Diferencias de incrementos radiales.....	16
4.10.2. Obtención del IMA máximo .....	17
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
5.1. Composición y estructura vegetal.....	18
5.2. Edades por categoría diamétrica .....	21
5.3. Variabilidad temporal del incremento radial .....	24
5.4. Influencia del clima en el incremento radial.....	27
5.5. Análisis de covarianza e incrementos radiales .....	31
5.6. IMA máximo, basado en análisis dendrocronológico .....	33
6. CONCLUSIONES.....	38
7. BIBLIOGRAFÍA .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de muestreo en elido Talayotes, Bocoyna Chihuahua. ....	9
Figura 2. Toma de muestras empleando el taladro de Pressler de 12 mm de diámetro y 46 cm de longitud, A) indica la toma de muestras insertando el barreno al ejercer presión y girar en dirección de las manecillas del reloj y B) la extracción de la viruta o muestra. ....	12
Figura 3. Ejemplares de <i>P. arizonica</i> posterior a su preparación y fechado que permiten observar patrones de crecimiento común entre muestras, periodos de supresión y liberación. ....	13
Figura 4. Composición de especies y estructura diamétrica de los sitios o gradientes altitudinales del área de estudio. ....	20
Figura 5. Edad promedio por categoría diamétrica en <i>P. arizonica</i> , <i>P. engelmanni</i> y <i>P. durangensis</i> en tres gradientes altitudinales del área de estudio. ....	22
Figura 6. Incremento Corriente Anual e Incremento Medio Anual radial para <i>P. arizonica</i> , <i>P. engelmannii</i> y <i>P. durangensis</i> a diferente gradiente altitudinal. ....	25
Figura 7. Diámetro acumulado versus incremento unitario del diámetro en diferentes gradientes altitudinales. ....	29
Figura 8. Relación entre crecimiento diamétrico acumulado (gráficos superiores) y sus correspondientes ICA e IMA (gráficos inferiores). ....	36



## ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Localización geográfica de los sitios de estudio, parcelas de muestreo por gradiente y especies seleccionadas.....	10
Tabla 2. Composición de especies vegetales en los diferentes gradientes altitudinales.....	19
Tabla 3. Análisis de varianza para denotar diferencias estadísticas entre edades de una misma especie a diferente gradiente altitudinal.....	23
Tabla 4. Análisis de varianza para el Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) radial comparando el GIII y GI para <i>P. arizonica</i> , GII y GIII para <i>P. engelmannii</i> y <i>P. durangensis</i> .....	26
Tabla 5. Análisis de covarianza para denotar diferencias en incremento radial de <i>P. arizonica</i> usando como covariables: densidad (árboles ha-1) y área basal (m2 ha-1).....	31
Tabla 6. Análisis de covarianza para denotar diferencias en incremento radial de <i>P. engelmannii</i> usando como covariables: densidad (árboles ha-1) y área basal (m2 ha-1).....	32
Tabla 7. Análisis de covarianza para denotar diferencias en incremento radial de <i>P. durangensis</i> usando como covariables: densidad (árboles ha-1) y área basal (m2 ha-1).....	33
Tabla 8. Estadísticos del modelo de crecimiento para cada especie de pino por gradiente altitudinal en Bocoyna, Chihuahua.....	35

## RESUMEN

El conocimiento de la edad relacionada con crecimiento e incremento de las masas forestales, es de gran importancia como herramienta para la toma de decisiones en el manejo de los bosques. El presente estudio se realizó con el objetivo de analizar con base en técnicas dendrocronológicas el incremento radial de *Pinus arizonica*, *P. engelmannii* y *P. durangensis*, en tres gradientes (G) altitudinales (I = 2450; II = 2580 y III = 2650) ubicados en el municipio de Bocoyna, Chihuahua. La comparación de incrementos (medio anual y corriente anual) entre gradiente y especie se realizó mediante análisis de varianza y covarianza en árboles dominantes y codominantes. Los resultados muestran que el incremento radial de *P. arizonica* es similar en los GI y GIII. Para *P. engelmannii* se registró un menor incremento medio anual en el GII, esto influido por el área basal y densidad de árboles, mientras que para *P. durangensis* se observa mayor incremento radial en el GIII, también influida por la densidad de árboles. El efecto altitudinal, competencia entre árboles vecinos y el clima, tuvieron influencia importante en el incremento anual para las tres especies. Se determinaron los valores de incremento máximos con base en el modelo de Schumacher, el Incremento corriente anual culminó entre 10 y 19 años, incrementando 0.65 cm promedio y un Incremento medio anual alcanzó su máximo entre 19 y 37 años en 0.42 cm promedio, creciendo en un diámetro promedio de 11 cm, para las tres especies a diferente gradiente altitudinal.

**Palabras clave:** Incremento radial, dendrocronología, gradiente, clima, crecimiento.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de clima templado frío tienen un gran valor por ser la fuente principal de madera, por su contribución al ciclo hidrológico y por su valor estético (Granados *et al.*, 2007). Una tarea del manejo forestal, es desarrollar herramientas prácticas para utilizar la experiencia acumulada, por esta razón es esencial que la investigación no se restrinja a resolver problemas científicos, si no que incluya nuevos métodos para evaluar opciones de manejo y técnicas para el análisis de las prácticas forestales (Gadow *et al.*, 2004).

Existen numerosos métodos por medio de los cuales es posible determinar el incremento y la producción en la ordenación de bosques, los cuales se pueden clasificar en cuatro grupos: tablas de incremento y producción, método del taladro de Pressler, método de control y análisis troncales (Klepac, 1983). El crecimiento de los árboles, está íntimamente asociado al factor tiempo y a las condiciones ambientales del sitio (características edáficas y climáticas), cuando estas son favorables al desarrollo de los árboles, estos expresan su máxima capacidad de crecimiento (Imaña y Encinas, 2008). Los anillos de crecimiento anual de plantas leñosas son generalmente el resultado de condiciones favorables y desfavorables durante la estación de crecimiento, los datos de anillos de crecimiento revelan información confiable de las condiciones de crecimiento a lo largo de la vida de un árbol (Brienen y Zuidema, 2003). La vida óptima de una masa forestal, puede definirse de muchas maneras. Así, puede entenderse por turno el que corresponde a la vida de la masa (criterio biológico), aquél en el que se alcanza la máxima productividad media de la masa forestal (Díaz, 1997). En las zonas de clima templado los incrementos anuales se aprecian claramente, estos se emplean para la estimación del crecimiento e incremento del árbol, su diámetro y cuál fue su volumen en un año determinado de su vida (Klepac, 1983).

El crecimiento de los árboles y de las plantas leñosas en general se debe a la actividad de los meristemos primarios y secundarios, tejidos formados por células no diferenciadas capaces de dividirse y generar nuevas células (Gutiérrez, 2008). Este crecimiento considerado en un período tiempo determinado se denomina incremento (Klepac, 1983). La altitud es una variable relevante en la diferenciación genética entre poblaciones de coníferas de México ya que se distribuyen fundamentalmente en las principales cadenas montañosas (Sáenz, 2004). Los gradientes altitudinales están estrechamente relacionados con los cambios ambientales, implicando a su vez un cambio en la diversidad de especies en diferentes gradientes, las cuales contribuyen al entendimiento de los cambios que experimenta la diferenciación en variables tales como el crecimiento (Sáenz, 2004; Medrano, 2015).

La dendrocronología es una ciencia que comprende un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales al año exacto de su formación, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento; las series dendrocronológicas permiten la investigación en numerosos campos de la ciencia ya que constituyen un registro del tiempo y un archivo de los acontecimientos pasados, así mismo, permiten analizar el régimen de perturbaciones que ha afectado al bosque, los procesos de competencia y el efecto del clima (Gutiérrez, 2008). En México la dendrocronología en la última década ha tenido un amplio desarrollo a lo largo del país, sobresaliendo dos grandes áreas de investigación: una, la generación de series centenarias (Villanueva *et al.*, 2010; Cerano *et al.*, 2011a) y milenarias (Stahle *et al.*, 2012) de registros paleoclimáticos que han permitido analizar el impacto de la variabilidad climática en la sociedad y, dos, la reconstrucción de los regímenes históricos de incendios y su relación con el clima (Cerano *et al.*, 2015). Sin embargo, en México esta disciplina no se ha empleado

como herramienta para determinar el crecimiento e incremento de las masas forestales, cuando representa una importante alternativa para el manejo forestal. El manejo forestal fundamentado en técnicas dendrocronológicas es ampliamente utilizado en países tales como España (Meya *et al.*, 2001), Argentina (Moglia *et al.*, 2010), Colombia (Giraldo y del Valle, 2012), Perú (Becerra y Zevallos, 2013) y Bolivia (Cacha y Saravia, 2014; López y Villalba, 2015).

Este documento tiene como propósito determinar el crecimiento e incremento radial de *Pinus arizonica*, *Pinus engelmannii* y *Pinus durangensis* a diferente gradiente altitudinal, empleando técnicas dendrocronológicas en el municipio de Bocoyna, Chihuahua.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Analizar el crecimiento e incremento radial de *Pinus arizonica*, *Pinus engelmannii* y *Pinus durangensis* a diferente gradiente altitudinal, con base en técnicas dendrocronológicas, en el ejido Talayotes, Bocoyna, Chihuahua.

### 2.2. Objetivos específicos

Determinar el incremento anual y medio anual en diámetro mediante técnicas dendrocronológicas para *Pinus arizonica*, *Pinus engelmannii* y *Pinus durangensis* en tres gradientes altitudinales.

Comparar estadísticamente el incremento anual y medio anual en diámetro entre especies y gradiente altitudinal.

Determinar los factores dasométricos que influyen en el incremento radial de las especies.

Determinar el Incremento medio anual máximo para *Pinus arizonica*, *Pinus engelmannii* y *Pinus durangensis* en tres gradientes altitudinales.

### Hipótesis

Las especies de *Pinus arizonica*, *Pinus engelmannii* y *Pinus durangensis* presentan variación en su incremento radial a diferente gradiente altitudinal.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Características del área de estudio

El estado de Chihuahua es el más extenso de la República Mexicana, tiene una superficie total de 24, 708,700 ha de las cuales 18.8 millones de ha se consideran superficie forestal, representa el 12.6 % de la superficie del país, en ella podemos encontrar bosques y selvas con un total de 7.6 millones de ha y 0.6 millones de ha, respectivamente (García, 2015). El bosque de pino se caracteriza por ser una comunidad siempre verde asociada con encinares y otras especies, es la de mayor importancia económica para la industria forestal en México, sustentando actividades forestales como aserrío, resinación, producción de pulpa celulósica, postería y recolección de semilla (Sáenz *et al.*, 2010).

La Sierra Tarahumara cuenta con elevaciones montañosas y barrancas, con variados accidentes topográficos, valles, montes, faldeos, mesas y áreas de cañada, lo que permite la presencia de diversas asociaciones vegetales, representadas por una gran variedad de flora y fauna, esto como consecuencia de la amplia gama de ecosistemas, bosque templado de pino-encino, bosques de encino, bosque de pino, selva baja caducifolia, bosques de encino-pino, entre otros (Silva, 2009). El Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM) es el método silvícola propuesto en 1986 y el autorizado para los programas de manejo forestal de los predios ubicados en el área de influencia de la UMAFOR de San Juanito, Bocoyna, para el año 2007. Este sistema está basado en cortas de selección y cortas de aclareo, por ello se le considera como un método selectivo, tanto para árboles individuales como para grupos (Silva, 2009).

### 3.2. Estudios dendrocronológicos afines en América latina

En Bolivia se ha analizado el crecimiento de la Cacha (*Aspidosperma* quebracho-blanco), para establecer el incremento diamétrico en dos sitios de la propiedad de Yabaré (Cacha y Saravia, 2014). López y Villalba (2015), evaluaron 12 especies forestales procedentes del Cerrado Boliviano para la estimación de tasas de incremento radial, los Turnos Biológicos de Corte (TBC), los Periodos y Diámetros Óptimos de Corte (POC y DOC). Para Colombia, Giraldo y del Valle (2012), analizaron 33 secciones transversales de árboles ubicados entre 664 - 870 msnm de *Albizia niopoides*, en el cañón del río Porce, cordillera Central de los Andes colombianos para la construcción del modelo de crecimiento. En Perú se han empleado métodos dendrocronológicos para determinar los turnos de corta, de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger en bosques de neblina de San Ignacio - Cajamarca, para verificar los establecidos legalmente o por métodos tradicionales (Becerra y Zevallos, 2013).

En Argentina Moglia et al., (2010), determinaron los incrementos anuales y acumulados del diámetro para establecer la probable relación entre los espesores de los anillos con la densidad básica, además de verificar la visualización de los límites de los anillos del material genético de *Eucalyptus camaldulensis* en la provincia de Santiago del Estero. Meya et al., (2001), analizaron la evolución de un rodal adulto (edad promedio de = 139 años) de *Pinus nigra* ssp. *Salzmannii* var. *Pirenaica* al oeste de la comarca del Solsonès (Lérida), España, construyendo una cronología de crecimientos que abarcó desde 1818 a 1996. Lamas y Rozas (2007), realizaron un estudio de los patrones de crecimiento radial de *Quercus robur* L., *Quercus pyrenaica* Willd., *Pinus pinaster* Ait., *Pinus pinea* L. y *Laurus nobilis* L., en la isla de Cortegada, perteneciente al Parque Nacional de las Islas Atlánticas de Galicia, para



determinarla repercusión que han tenido sobre el crecimiento los cambios de uso del terreno ocurridos en el último siglo en la isla.

### **3.3. Descripción de las especies de estudio**

La gran mayoría de los pinos mexicanos posee una distribución geográfica restringida al territorio de este país y a algunas áreas vecinas, casi todos constituyen elementos dominantes o codominantes en la vegetación, los pinares son comunidades muy característicos de México y ocupan vastas superficies del territorio, por ejemplo la sierra madre occidental, en su porción correspondiente a Chihuahua, ostenta amplias extensiones de pinares, sobre todo entre 1800 y 3000 msnm (Farjon *et al.*, 1997; Rzedowski, 2006).

Las especies más abundantes son *P. arizonica* hacia las partes altas y *P. engelmannii* hacia las bajas, ambas muy relacionadas con el *P. ponderosa*, estos pinares son bastantes abiertos, mezclados con otras especies de árboles como son *Quercus spp.*, *Arbutus spp.*, *Pinus chihuahuana* en las partes inferiores, mientras que *P. durangensis*, *Pseudotsuga*, *Abies* y *Picea* se localizan en parajes húmedos de zonas más altas, *P. ayacahuite var. brachyptera* puede ser frecuente en los cañones y *P. lumholtzii* en sitios muy expuestos (Rzedowski, 2006).

#### **3.3.1. *Pinus arizonica* Engelmanni**

Habita en altas montañas en suelos profundos y bien drenados en bosque de pino y pino - encino, árbol de tronco recto de hasta 30 - 35 metros de alto y 100 - 120 centímetros de diámetro a la altura del pecho (d.a.p.), acículas de color verde grisáceo en fascículos de 3 - 5, de 10 - 20 cm de longitud, generalmente en México se distribuye en la Sierra Madre

Occidental (SMO), al sur del estado de Durango, en áreas apartadas de Coahuila, noreste de Zacatecas y Nuevo León a una altitud de 2200 - 2700 msnm (Farjon *et al.*, 1997).

### **3.3.2. *Pinus engelmannii* Carrière**

Habita en pinares y bosques de pino - encino montañosos, hasta de alta montaña y bosques de pino - encino o montes con vegetación más abierta en una altitud de 1500 - 2700 msnm, más abundantemente entre 2000 - 2500 msnm. Árbol de tronco recto de hasta 20 - 25 m de alto y 70 - 90 cm de d.a.p., acículas de color verde-grisáceo, en fascículos de 3 - 5, de 20 a 35 cm de longitud. Se distribuye en México principalmente en la SMO, en los estados de Sonora, Chihuahua, noreste de Sinaloa, Durango y una población disyunta en Zacatecas, para la SMO es la única especie de pino con fascículos muy largos, hojas muy gruesas y largas (Farjon *et al.*, 1997). Entre las especies asociadas destacan *P. arizonica* y *P. ponderosa*.

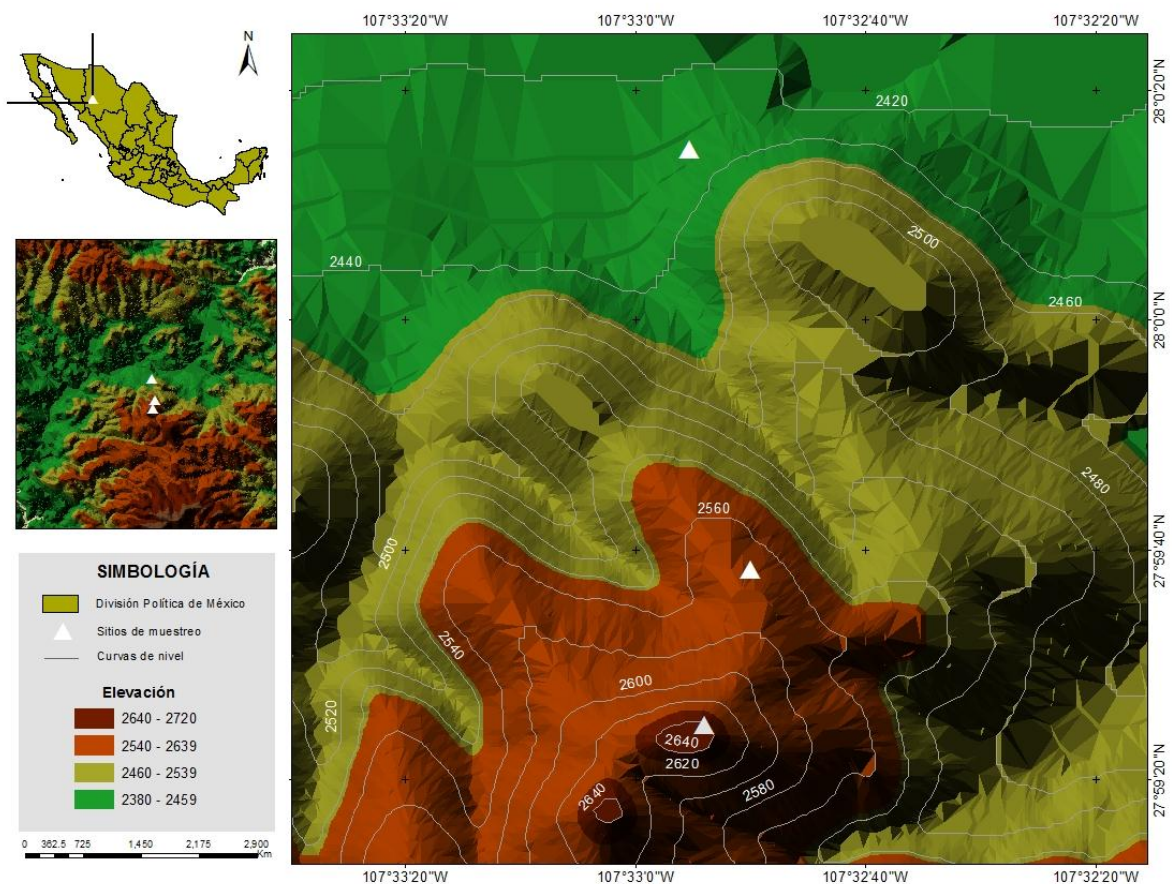
### **3.3.3. *Pinus durangensis* Martínez**

Habita en pinares y bosques de pino - encino de montaña, en suelos someros o profundos, se le puede localizar formando bosque puros o asociado con otras especies, se distribuye a una altitud de 1600 - 2800 msnm. Árbol de tronco recto, entre 35 - 40 metros de alto y 80 - 100 cm de d.a.p., fascículos de 5 - 6 acículas de 14 - 24 cm de longitud. Se distribuye principalmente en el sur de la SMO, especie con rara presencia en el este de Sonora y Chihuahua, y común en el estado de Durango, Zacatecas y norte de Jalisco, más dispersa y escasa en el sur de Jalisco y norte de Michoacán (Farjon *et al.*, 1997). Se asocia comúnmente con *P. arizonica*, tiene conos similares pero acículas más gruesas, rígidas y de color glauco, en fascículos de 3 - 5.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Descripción del área de estudio

El área de trabajo se encuentra en el macizo montañoso de la SMO, al oeste del estado de Chihuahua, en el municipio de Bocoyna, ejido Talayotes (Figura 1). Los sitios de estudio están distribuidos en tres gradientes altitudinales sub - divididos en dos parcelas de 1000 m<sup>2</sup> cada uno (Tabla 1).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las áreas de muestreo en elido Talayotes, Bocoyna Chihuahua.

**Tabla 1.** Localización geográfica de los sitios de estudio, parcelas de muestreo por gradiente y especies seleccionadas.

G	Especie	Parcela	Localización geográfica (Zona 13R)		Altitud (msnm)
			Latitud (N)	Longitud (W)	
III	<i>Pinus arizonica</i>	3A	27° 59' 25.5''	107° 32' 55.3''	2651
	<i>Pinus engelmannii</i>	3B	27° 59' 26.1''	107° 32' 52.3''	2626
	<i>Pinus durangensis</i>				
II	<i>Pinus engelmannii</i>	2A	27° 59' 39.9''	107° 32' 51.9''	2580
	<i>Pinus durangensis</i>	2B	27° 59' 37.0''	107° 32' 48.8''	2585
I	<i>Pinus arizonica</i>	1A	28° 00' 14.8''	107° 32' 52.3''	2450
		1B	28° 00' 12.1''	107° 32' 55.1''	2452

Dónde: G = Gradiente; A y B orden de parcela por gradiente.

## 4.2. Características físicas

### 4.2.1. Clima

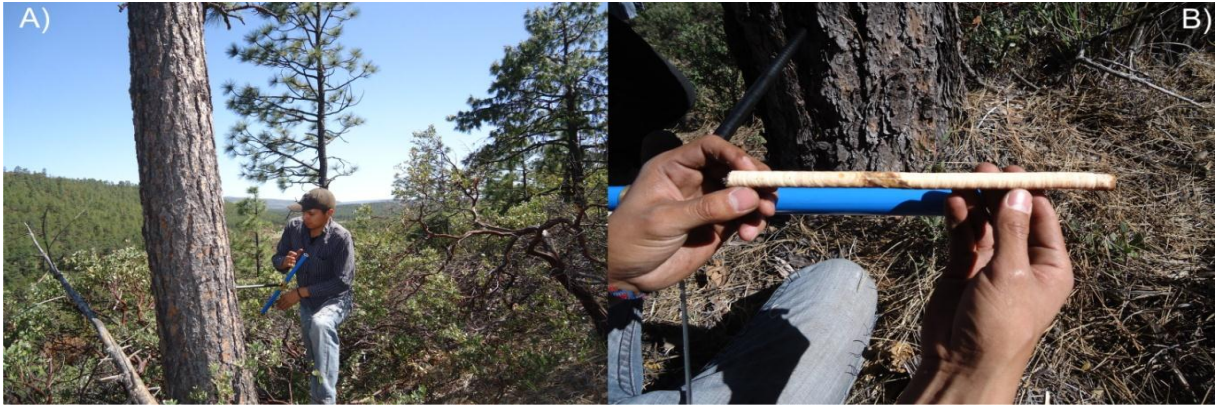
De acuerdo a las características de precipitación y temperatura en la región, predominan los climas templados, destacando el de tipo semi - frío sub - húmedo con lluvias en verano de mayor humedad y el semi-frío sub - húmedo con lluvias en verano de humedad media (Silva, 2009). Con base en los datos de la estación 00008126 del servicio meteorológico nacional, localizada en la comunidad de San Juanito (localidad de mayor cercanía al área de estudio) que comprende un registro para el período 1951 - 2010 (60 años), la temperatura mínima anual es de 0.5 °C y una máxima de 19.4°C, anualmente registra una precipitación promedio de 734.1 mm (IMTA, 2010).

#### **4.2.2. Suelos**

En base a la clasificación de las Cartas Edafológicas escala 1: 250,000 de INEGI, para San Juanito, Chihuahua, se identifican un total de 97 unidades de suelo, de los cuales 32 pertenecen al tipo Regosol eútrico, que son la unidad de suelo más abundante, se caracterizan por presentar un horizonte “A” ócrico, o bien, un horizonte gléyico a más de 50 cm de la superficie, los regosoles son muy jóvenes, constituidos por materiales que son la etapa inicial para la formación de muchos otros suelos, además de estar limitados en un 91.18 % en su profundidad por fases líticas (lecho rocoso) o petrocálcicas (caliche), en un 8.33 % por obstrucción superficial e interna por la presencia de fases gravosas y pedregosas (INEGI, 2009; Silva, 2009).

#### **4.3. Trabajo de campo**

La toma de muestras (virutas) se realizó en agosto del año 2015, los sitios de muestreo se seleccionaron considerando como referencia la distribución de trampas multi - embudos establecidas para el monitoreo de descortezadores, actividad principal del proyecto que financia la presente investigación. Para cada uno de los tres gradientes altitudinales se delimitaron dos parcelas circulares de 1000 m<sup>2</sup>, en cada parcela se recopiló información dasométrica de cada uno de los individuos localizados dentro del sitio, se tomaron muestras con taladros de Pressler de 5 y 12 milímetros de diámetro, tres virutas por categoría diamétrica a la altura de 1.30 m a partir de la categoría de 5 cm (Figura 2). Se consideraron diferentes orientaciones de los árboles dado que no presentan un crecimiento concéntrico, el ancho de un anillo no es igual en todos los lados del árbol (Klepac 1983). Adicionalmente, se delimitó una parcela de 200 m<sup>2</sup> dentro de la parcela de 1000 m<sup>2</sup>, en la cual se levantó información sobre la regeneración del sitio.



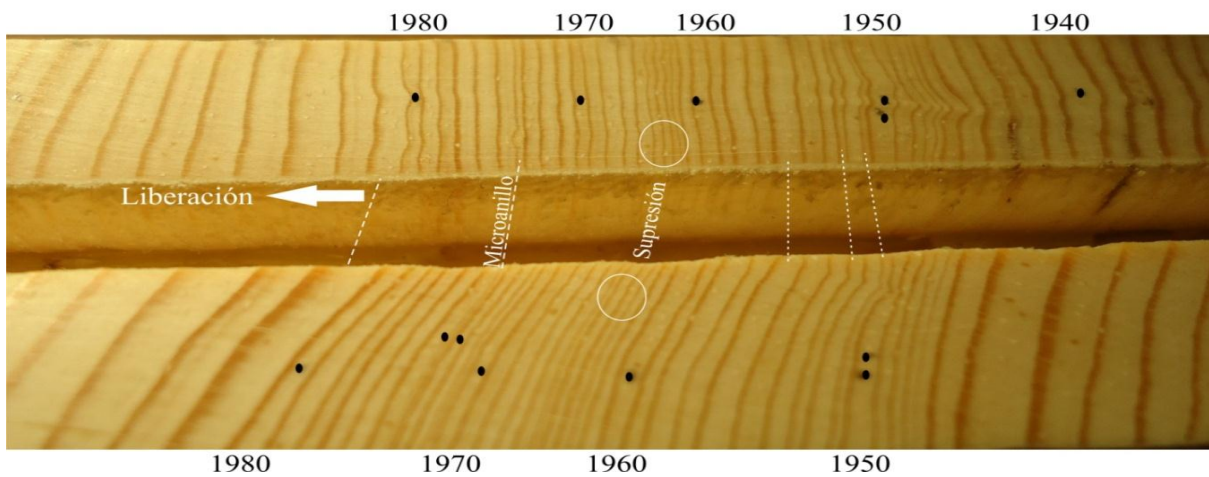
**Figura 2.** Toma de muestras empleando el taladro de Pressler de 12 mm de diámetro y 46 cm de longitud, A) indica la toma de muestras insertando el barreno al ejercer presión y girar en dirección de las manecillas del reloj y B) la extracción de la viruta o muestra.

Cada una de las muestras se colocó en popotes para facilitar su traslado en campo, los cuales se prepararon con pequeñas perforaciones para facilitar la pérdida de humedad, evitar daños por hongos y tener un secado uniforme sin una deformación brusca de la muestra. Para las muestras colectadas con el taladro de 12 mm de diámetro, se utilizó papel periódico para envolverlas, este material además de permitir escribir sobre la muestra produce un secado uniforme al ir absorbiendo la humedad. Así mismo, dónde se obtuvo cada muestra se levantó información adicional sobre datos de georreferenciación y medidas dasométricas (Cerano, 2004).

#### **4.4. Preparación de las muestras colectadas**

El material colectado se trasladó al Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID - RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Durango. Cada una de las virutas se montó sobre un soporte de madera cuidando que la posición de las traqueidas siempre estuviera en posición vertical o perpendicular a los anillos de crecimiento, cada muestra se pegó con resistol y se

ajustó a la moldura de madera con cinta adhesiva. Una vez secado el pegamento se retiró la cinta, posteriormente con el apoyo de una pulidora se pulió cada una de las muestras aplicando diferentes granos de lija (Figura 3), consecutivamente de la más gruesa a la más fina (grano de 120 - 1200), para lograr resaltar las estructuras de crecimiento anual y facilitar el análisis bajo microscopio (Cerano, 2004).



**Figura 3.** Ejemplares de *P. arizonica* posterior a su preparación y fechado que permiten observar patrones de crecimiento común entre muestras, periodos de supresión y liberación.

#### 4.5. Pre - fechado de crecimientos anuales

El pre - fechado de las muestras fue realizado mediante la técnica de Skeleton Plot (gráficos de crecimiento), la cual consiste en graficar en papel los crecimientos anuales mediante líneas verticales, resaltando los anillos más delgados y los de mayor incremento (anchos) (Stokes y Smiley, 1995). Este tipo de gráficos permite comparar patrones de crecimiento común entre muestras de un mismo árbol, entre árboles y entre diferentes sitios.

Con base en la comparación de los diferentes gráficos, se determinaron patrones de crecimiento, se discriminaron anillos falsos y se determinaron anillos perdidos, logrando



generar una serie sin problemas de crecimiento, con un adecuado pre - fechado. Una vez determinado un mismo comportamiento o similitud en el crecimiento entre las diferentes muestras, se procedió a asignar el año exacto de la formación para cada uno de los anillos de crecimiento (Figura 3), iniciando del anillo más reciente (del lado de la corteza) y completamente desarrollado, para este caso corresponde al año 2014, y así sucesivamente hasta el primer anillo formado o más antiguo (medula).

#### **4.6. Medición de los anillos de crecimiento y verificación del fechado**

Una vez realizado el pre - fechado para cada una de las muestras, se midió el ancho de cada uno de los anillos de crecimiento con la fecha asignada empleando un sistema de medición Velmex con una precisión de 0.001 mm conectado a una platina de fase deslizable y un estereoscopio trilocular (10 X). Se generó una base de datos con las mediciones del ancho de anillo para cada una de las muestras por gradiente altitudinal, empleando el software Measure J2X. La calidad del fechado y medición se verificó con el programa COFECHA (Holmes, 1983), este software compara los patrones de crecimiento de cada una de las muestras con el total de las muestras y la serie promedio o maestra, asigna valores de correlación estadísticamente significativos ( $p < 0.01$ ) para cada muestra por segmentos de 50 años, al comparar el crecimiento común en períodos de 50 años con una sobreposición de 25 años.

#### **4.7. Calculo de variables dasométricas**

##### **4.7.1. Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ )**

Se generó un promedio de la información dasométrica por gradiente con base en las dos parcelas. Se calculó el área basal expresada en  $m^2 ha^{-1}$ . El crecimiento en área basal se calculó



en función a la medición del diámetro tomado a 1.30 m, para cada categoría diamétrica expresado como:

$$AB = \left( 0.7854 \left( \frac{DAP}{100} \right)^2 \right) 10$$

Dónde:

DAP = diámetro a 1.30 m

$$0.7854 = (\pi/4)$$

#### **4.7.2. Densidad (árboles ha<sup>-1</sup>)**

La densidad expresada en árboles ha<sup>-1</sup> se calculó al determinar el número de individuos promedio por 1000 m<sup>2</sup> para cada gradiente y multiplicar por 10 para hacer inferencia a la densidad por hectárea.

#### **4.8. Análisis del incremento radial**

La base de datos obtenida expresada en milímetros para cada especie por gradiente, fueron convertidos en centímetros y en área basimétrica en función a su edad biológica, empleando el programa AGE de la Librería de Programas Dendrocronológicos (DPL, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Arizona, el cual generó el incremento radial promedio por gradiente y por especie. El Incremento Corriente Anual (ICA) corresponde al crecimiento ocurrido entre el inicio y final de la estación de crecimiento, en un periodo de 12 meses (Imaña y Encinas, 2008). El incremento acumulado es la sumatoria del crecimiento para un periodo determinado, el ICA para un año en específico t fue determinado restando al crecimiento acumulado (CA) el incremento del año anterior.

$$ICA = CA - t$$

Dónde:

ICA= Incremento corriente anual para un año en específico

CA= Crecimiento acumulado de un año en específico

t= Crecimiento acumulado del año anterior

El Incremento Medio Anual (IMA) es el crecimiento promedio a una edad determinada “t” del árbol, resulta de dividir el crecimiento acumulado para un período específico entre t años.

$$IMA = \frac{CA}{t}$$

Dónde:

IMA= Incremento medio anual

CA= Crecimiento acumulado para un período específico

t= Número de años del período específico

#### **4.9. Curvas de crecimiento diamétrico**

Las curvas de crecimiento diamétrico acumulado se generaron para cada gradiente y especie, las cuales fueron calculadas promediando los crecimientos individuales de cada una de las diferentes muestras para un periodo en común, esto considerando la edad biológica de cada serie, con el objetivo de disminuir la variabilidad de aquellos árboles que presentaron edades superiores.

#### **4.10. Análisis estadístico**

##### **4.10.1. Diferencias de incrementos radiales**

Para determinar de manera estadística diferencias en incremento para cada una de las especies a diferente gradiente altitudinal y si los factores dasométricos influyen en el

incremento, primeramente se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias LSD Fisher, considerando como variables independientes el ICA e IMA, comparando el gradiente I y III para *P. arizonica*, el gradiente II y III para *P. engelmannii* y *P. durangensis*. Así mismo, el mismo análisis se corrió considerando las edades. Posteriormente se analizó la influencia las covariables de densidad (árboles ha<sup>-1</sup>) y área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) en el incremento, considerando la especie y el gradiente altitudinal con base en un análisis de covarianza, todo esto empleando el software InfoStat / L Versión Libre de la Universidad Nacional de Córdoba.

#### 4.10.2. Obtención del IMA máximo

Las curvas ajustadas de crecimiento se determinaron en función a todas las categorías diamétricas para cada especie. El ajuste para los incrementos se determinó empleando el software Statistical Analysis System (SAS). Con base a la ecuación de Schumacher (UMAFOR 08 - 05 de San Juanito, 2013), la cual se expresa como:

$$y = \exp (a + b / x)$$

Dónde:  $y$  = incremento radial (mm),  $x$  = edad (años),  $\exp$  = exponencial,  $a$  y  $b$  = parámetros del modelo. El incremento diario (ICA) e (IMA) en incremento radial, se obtuvo derivando “ $y$ ” con “ $x$ ”, y con “ $b$ ”, como sigue:

$$\text{ICA: } dy / dx = - a / x^2 \exp (a + b / x)$$

$$\text{IMA: } dy / da = - 1 / x. \exp (a + b / x)$$

Esto sirvió para determinar la culminación de incrementos a cierta edad para cada una de las especies por gradiente altitudinal.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Composición y estructura vegetal

Los factores ambientales modifican la riqueza de especies a lo largo de un gradiente, esto debido a que en cada condición ambiental la variabilidad de recursos disponibles es diferente (Medrano, 2015). Se determinó que la densidad de árboles  $\text{ha}^{-1}$  aumenta conforme se asciende en el gradiente altitudinal, valores de 320 árboles  $\text{ha}^{-1}$  para el GI, 590 árboles  $\text{ha}^{-1}$  para el GII y 630 árboles  $\text{ha}^{-1}$  para el GIII; existe una mayor asociación de especies en los GII y GIII de mayor elevación, en comparación con el GI de menor elevación (Tabla 2, Figura 4). El área basimétrica tiende a ser similar para los GI y GIII con  $15.49 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  para el GI y  $15.73 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  para el GIII, lo que se atribuye a que en el GI se presentan categorías diamétricas superiores a los 35 cm y en el GIII aunque son árboles pequeños se tiene una mayor densidad (Figura 4).

A medida que el número de árboles aumenta por hectárea el área basal total tiende a aumentar, pero disminuye individualmente (Daniel *et al.* 1982). Se observan diferencias en estructura (relación diámetro-árboles  $\text{ha}^{-1}$ ) en los tres niveles altitudinales (Tabla 2), existe un incremento en la composición de especies a medida que se aumenta en altitud, *P. arizonica* se registra en los GI y GIII, especie dominante en los dos gradientes, con categorías diamétricas que alcanzan los 50 cm y abundante regeneración en el GI, para el GIII la regeneración es nula y abundante para *Quercus sideroxyla* (Figura 4).

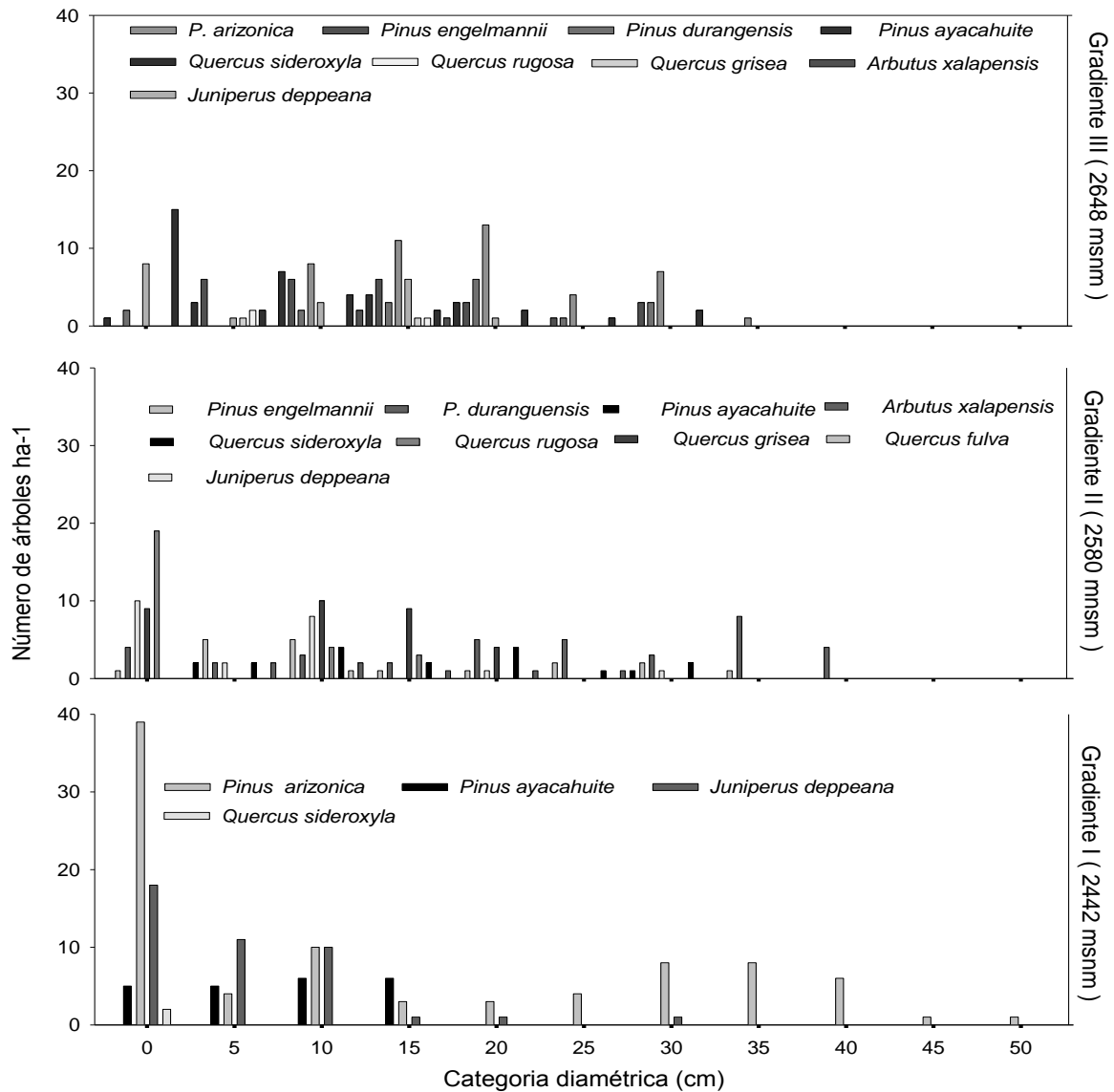
**Tabla 2.** Composición de especies vegetales en los diferentes gradientes altitudinales.

G	Spp	Altitud (msnm)	N° de virutas	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
III	<i>Pinus arizonica</i> *	2648	38	630	15.73
	<i>Pinus engelmannii</i> *				
	<i>Pinus durangensis</i> *				
	<i>Pinus ayacahuite</i>				
	<i>Juniperus deppeana</i>				
	<i>Quercus sideroxyla</i>				
	<i>Quercus grisea</i>				
	<i>Quercus rugosa</i>				
	<i>Quercus fulva</i>				
	<i>Arbutus xalapensis</i>				
II	<i>Pinus engelmannii</i> *	2580	43	590	17.73
	<i>Pinus durangensis</i> *				
	<i>Pinus ayacahuite</i>				
	<i>Juniperus deppeana</i>				
	<i>Quercus sideroxyla</i>				
	<i>Quercus grisea</i>				
	<i>Quercus rugosa</i>				
	<i>Quercus fulva</i>				
<i>Arbutus xalapensis</i>					
I	<i>Pinus arizonica</i> *	2442	29	320	15.49
	<i>Pinus ayacahuite</i>				
	<i>Juniperus deppeana</i>				

Dónde: G = gradiente; spp = especies analizadas (\* extracción de virutas).

De manera natural la regeneración se presenta en lomas y quebradas con mayor exposición a la luz y se corre el riesgo que la regeneración de pino pueda ser desplazada por especies de encino (Velásquez *et al.* 1985), esta condición se cumple para el GIII, el cual cuenta con pendientes más pronunciadas, mayor exposición a la luz y una regeneración dominante de encino, no se observan categorías diamétricas que rebasen los 35 cm. Sin embargo, el GII y GIII registraron mayor densidad de las categorías superiores a 5 cm (590 y 630 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente) en comparación con el GI (320 árboles ha<sup>-1</sup>), atribuibles a la presencia de un mayor número de especies en el sitio. *P. engelmannii* y *P. durangensis* se registran en el GII y

GIII, dominando este último en el GII (Tabla 2, Figura 4). Ambos gradientes presentan una densidad similar (590 y 630 árboles ha<sup>-1</sup>), la cual se debe a que ambos sitios presentan un alto número de especies, 9 y 10 especies, respectivamente (Tabla 2). La mayor área basimétrica se registra en el GII, la cual es de 17.73 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, que se atribuye especialmente a que se registran categorías que alcanzan hasta los 40 cm, como el GI (Tabla 2, Figura 4).

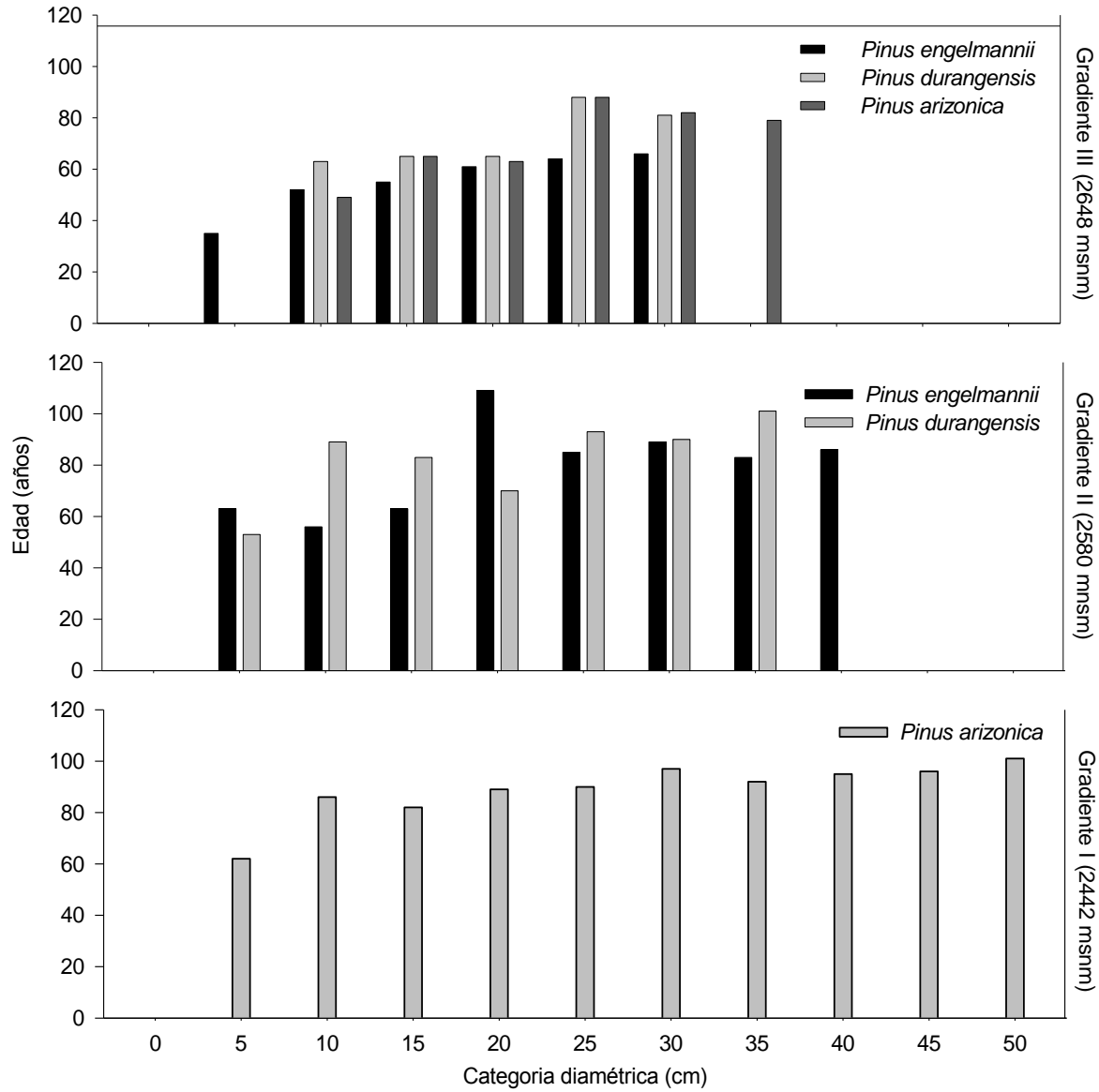


**Figura 4.** Composición de especies y estructura diamétrica de los sitios o gradientes altitudinales del área de estudio.

## 5.2. Edades por categoría diamétrica

Con respecto a las edades, consideradas en este estudio a partir de la categoría diamétrica de 10 cm, se determinó que *P. arizonica* distribuido en el GI y GIII, presenta edades por arriba de los 80 y 50 años respectivamente, lo anterior muestra que el GI tiene arbolado más viejo, a diferencia del GIII dónde los árboles son más jóvenes (Figura 5), existiendo diferencias significativas ( $p < 0.01$ ; Tabla 3). *P. engelmannii* presenta edades por arriba de los 50 años tanto para el GII y GIII (Figura 5), sin embargo, el GII registra edades en un rango de 50 a 100 años, mientras que el GIII de 50 a 60 años (Figura 5); el promedio de edad es estadísticamente igual ( $p > 0.05$ ) entre los GII y GIII (Tabla 3). *P. durangensis* que crece en el GII y GIII, presenta edades por arriba de los 70 años para el GII y de 60 años para el GIII (Figura 5), siendo estadísticamente diferente entre gradientes ( $p < 0.01$ ; Tabla 3). Con base en lo establecido por Klepac (1983), que un bosque de selección está compuesto de árboles con diámetros diferentes, la normalidad en un bosque de selección no recae en una serie de masas coetáneas, sino en una serie de árboles de varias edades, condición que se observa en los sitios de estudio, masas incoetáneas de selección, las edades presentan un rango de variación mayor a 20 años (Figura 5).

Puesto que en este estudio se consideró la categoría diamétrica, se tuvo que en *P. arizonica* se determinaron edades por encima de 80 años para categorías de 10 cm (GI); en el GII en *P. engelmannii* y *P. durangensis* se tuvieron edades de 50 años desde la categoría de 5 cm; en *P. engelmannii* se alcanzó un diámetro de 20 cm en 110 años y 40 cm en 84 años; en el GIII edades a partir de 45 años desde la categoría diamétrica de 10 cm para las tres especies (Figura 5).



**Figura 5.** Edad promedio por categoría diamétrica en *P. arizonica*, *P. engelmannii* y *P. durangensis* en tres gradientes altitudinales del área de estudio.



**Tabla 3.** Análisis de varianza para denotar diferencias estadísticas entre edades de una misma especie a diferente gradiente altitudinal.

F.V.	gl	CM	F	p-valor	Especie/Gradiente	Medias	n	E.E
<i>Pinus arizonica</i>								
G	1	3944.58	41.57	0.0001**	I	88.43	28	1.84A
					III	69.12	17	2.36B
<i>Pinus engelmannii</i>								
G	1	845.94	2.72	0.1143 <sup>NS</sup>	II	71.73	15	4.56A
					III	59.00	8	6.24A
<i>Pinus durangensis</i>								
G	1	2291.30	13.42	0.0007**	II	72.81	27	2.51A
					III	57.40	15	3.37B

F.V. = fuente de variación; G = gradiente; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; EE = error estándar; NS = no significativo; \* = significativo ( $p < 0.05$ ); \*\* = altamente significativo ( $p < 0.01$ ); Las letras distintas indican diferencias significativa ( $p < 0.05$ ), según prueba de LSD Fisher.

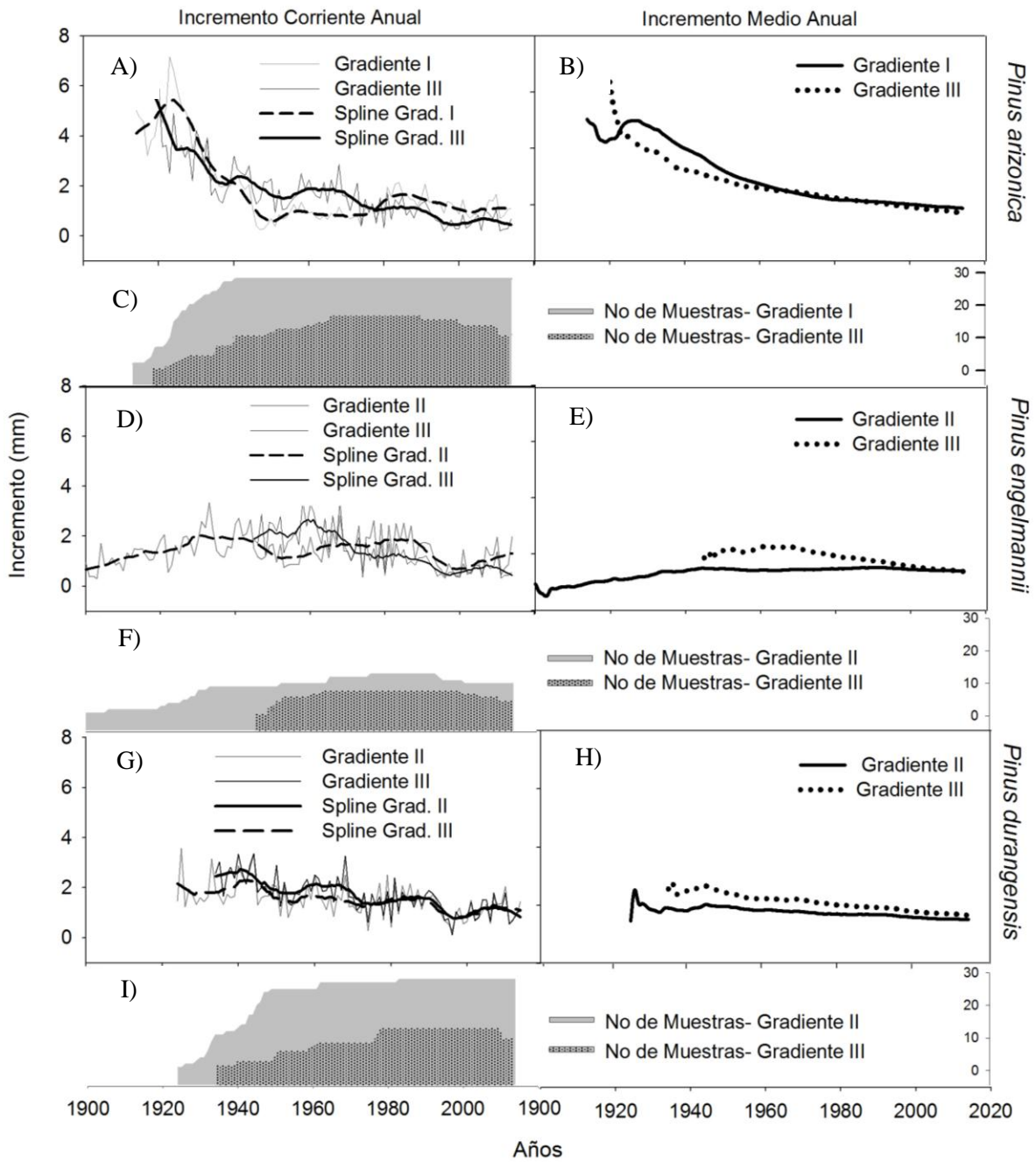
Existe supresión en diámetro en las categorías diamétricas pequeñas, el incremento en diámetro de los árboles jóvenes se mantiene en aumento por largo tiempo (Klepac, 1983).

En las masas forestales regulares el crecimiento corriente culmina a una edad temprana y desciende de forma rápida a partir de aquí, en las irregulares el punto de culminación es más tardío (debido a efectos de supresión) y se mantiene constante durante un largo período (Meya *et al.*, 2001). Por lo tanto el efecto de la competencia da lugar a crecimientos muy por debajo de los potenciales.

### 5.3. Variabilidad temporal del incremento radial

El rango altitudinal y latitudinal (Tabla 1), están situadas las tres especies en estudio (Farjon *et al.*, 1997; Rzedowski, 2006), lo cual indica que las mismas se encuentran dentro de su distribución natural y hábitat, sin embargo las especies forestales con distribución natural, a través de gradientes altitudinales, tienden a diferenciarse en los distintos caracteres de crecimiento y adaptación, como respuesta a las cambiantes condiciones impuestas por el ambiente (Rehefeldt, 1988).

Tal como lo muestran las series de incremento (valores desde 0.5 hasta 7 mm por año) formado a una edad determinada a través del tiempo, representan la tendencia del ICA e IMA entre especies a diferente gradiente altitudinal desde 1900 al 2014 (Figura 6). Existe un mejor potencial de crecimiento de las especies situadas a menor altitud dado que tienen un periodo de crecimiento más largo, esto por las condiciones de mayor temperatura, a diferencia de las situadas a una mayor altitud, las cuales mantienen un periodo de crecimiento más corto para evitar daños por heladas (Sáenz, 2004; Viveros *et al.*, 2005). Esta condición que se observa en *P. arizonica* durante los primeros 20 años, el cual registró los mayores incrementos en el G1, alcanzando 7 mm, para el caso del GIII alcanzó incrementos de 6 mm, para ambos gradientes el incremento tienden a disminuir posterior a 1940, quedando por abajo la tendencia de incrementos anuales en un periodo de 30 años el G1 (Figura 6A). Este tipo de variación altitudinal en el crecimiento suele deberse a que las poblaciones situadas en los extremos inferiores del gradiente están más limitadas por la disponibilidad hídrica y a las bajas temperaturas que en el límite superior (Linares *et al.*, 2009).



**Figura 6.** Incremento Corriente Anual e Incremento Medio Anual radial para *P. arizonica*, *P. engelmannii* y *P. durangensis* a diferente gradiente altitudinal.

Para *P. engelmannii* (GII y GIII) se obtuvieron muestras de mayor edad (115 años) registrando su crecimiento desde 1900, el GII mostró un incremento radial constante entre 1 y 2 mm aproximadamente durante el último siglo; el GIII durante 1960 registró altos incrementos (mayores a 3 mm), posteriormente tendió a disminuir hasta 0.5 mm en el 2014 (Figura 6 D).

**Tabla 4.** Análisis de varianza para el Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) radial comparando el GIII y GI para *P. arizonica*, GII y GIII para *P. engelmannii* y *P. durangensis*.

	F.V.	F	P – valor	N	C.V	G	Medias	n	E.E
<i>Pinus arizonica</i>									
<b>ICA</b>	Modelo	0.06	0.8507 <sup>NS</sup>			III	1.72	96	0.14A
	Gradiente	0.06	0.8507 <sup>NS</sup>	192	77.44	I	1.76	96	0.14A
<b>IMA</b>	Modelo	1.52	0.2185 <sup>NS</sup>			III	2.77	96	0.10A
	Gradiente	1.52	0.2185 <sup>NS</sup>	192	35.06	I	2.95	96	0.10A
<i>Pinus engelmannii</i>									
<b>ICA</b>	Modelo	0.1	0.7470 <sup>NS</sup>			II	1.35	70	0.09A
	Gradiente	0.1	0.7470 <sup>NS</sup>	140	54.03	III	1.39	70	0.09A
<b>IMA</b>	Modelo	153.63	0.0001**			II	1.46	70	0.02A
	Gradiente	153.63	0.0001**	140	12.01	III	1.88	70	0.02B
<i>Pinus durangensis</i>									
<b>ICA</b>	Modelo	3.96	0.0483*			II	1.46	81	0.07A
	Gradiente	3.96	0.0483*	162	42.47	III	1.67	81	0.07B
<b>IMA</b>	Modelo	102.87	0.0001**			II	1.74	81	0.02A
	Gradiente	102.87	0.0001**	162	11.96	III	2.11	81	0.03B

F.V. = fuente de variación; F = valor de F; N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; G = gradiente; EE = error estándar; Grad = gradiente; NS = no significativo; \* = significativo ( $p < 0.05$ ); \*\* = altamente significativo ( $p < 0.01$ ); Las letras distintas indican diferencias significativa ( $p < 0.05$ ), según prueba de LSD Fisher.

Finalmente *P. durangensis* registró incrementos de 3.8 mm a partir de 1924 para el GII y GIII. Para ambos gradientes *P. arizonica* a partir de 1975 y hasta el 2014 muestra patrones comunes en la tendencia de su incremento con valores entre 0.5 a 2 mm (Figura 6 G). Al comparar los incrementos radiales de una misma especie a diferente gradiente altitudinal se determinó si existe o no diferencia estadística.

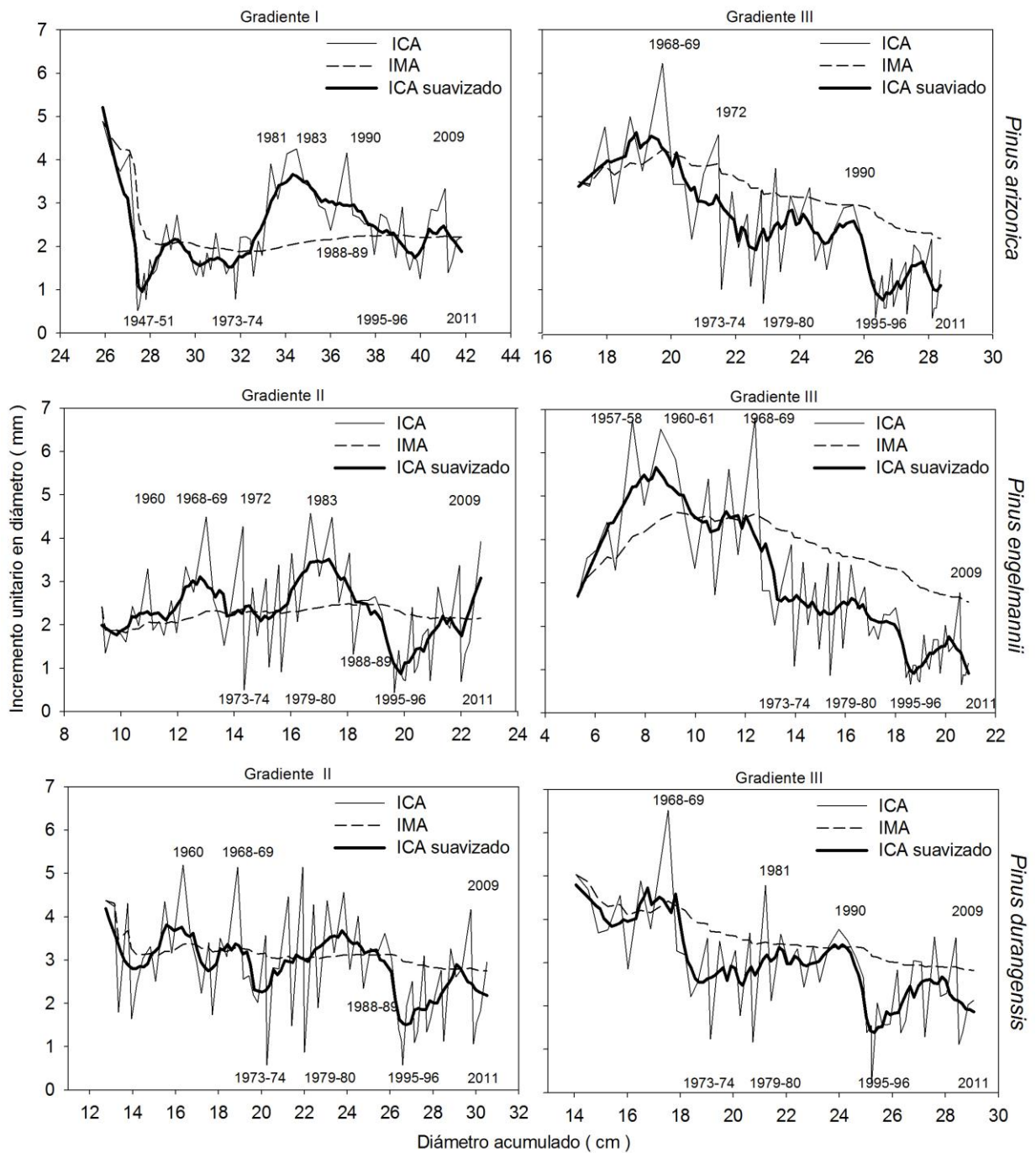
Para *P. arizonica* no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) tanto en ICA como en IMA para los GI y GIII (Tabla 4, Figura 6 A, B). En *P. engelmannii* en el GII y GIII, el ICA no presenta diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), sin embargo, se observa una diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) en IMA (Tabla 4, Figura 6 D), lo que indica un mayor incremento en IMA, 1.8 mm como máximo para el gradiente III (Figura 4 E). Para *P. durangensis* se determinó que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) para el ICA y diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) en IMA para los GII y GIII (Tabla 4, Figura 6 H).

#### **5.4. Influencia del clima en el incremento radial**

El comportamiento del crecimiento de la masa forestal está en función de diferentes variables tales como de la estructura, composición del sitio (competencia con otros árboles u asociaciones vegetales) (Figura 4) y factores ambientales, interacciones con el medio ambiente (temperatura, viento, precipitación etc.), características topográficas y físicas de los suelos (altitud, pendiente, exposición, profundidad, textura, estructura etc.), además de factores antropogénicos (Imaña y Encinas, 2008). Las poblaciones de coníferas se diferencian genéticamente en un gradiente altitudinal, como respuesta a la presión de selección de variables ambientales, la diferenciación ocurre en variables tales como el crecimiento (Sáenz, 2004). La tasa de crecimiento de las especies analizadas a través del tiempo permite observar períodos con disminuciones importantes en el incremento anual (Figura 6). En general, las

series de incremento radial de *P. arizonica*, *P. engelmannii* y *P. durangensis* en los diferentes gradientes altitudinales, muestran una disminución de hasta 0.5 mm en su incremento anual para los períodos 1947 - 1951, 1973 - 74, 1979 - 1980, 1995 - 1996 y 2011 (Figura 7), atribuibles a la variabilidad climática regional. En un estudio realizado con *Pinus nigra* (Candel *et al.*, 2013), analizaron su crecimiento radial a lo largo de un gradiente altitudinal (1000 – 1700 m), demostraron que en la zona baja del gradiente altitudinal las poblaciones mostraron mayor sensibilidad a la sequía, en el cual disminuyó su crecimiento conforme disminuyó la precipitación a diferencia de las zonas medias y altas, en las cuales la población mostro menor sensibilidad frente a la sequía así como un efecto positivo a la temperatura y un mayor crecimiento (Linares *et al.*, 2009). A diferencia de lo mencionado por (Sáenz, 2004; Viveros *et al.*, 2005), donde indican un mejor potencial de crecimiento a las especies situadas a menor altitud.

Sánchez *et al.* (2012) al analizar el crecimiento de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, mencionan que existe una relación en la competencia entre árboles vecinos y el clima, eventos extremos y recurrentes de sequía, son los factores de predisposición más importantes del decaimiento del ancho del anillo. El clima es uno de los factores determinantes en el crecimiento anual de la vegetación, siendo la precipitación la variable de mayor influencia en la respuesta ascendente y descendente del crecimiento (Lamas y Rozas, 2007; Cerano *et al.*, 2009; Cerano *et al.*, 2012). Durante el siglo XX se registraron en México cuatro grandes sequías durante los períodos de 1948 - 1954, 1960 - 1964, 1970 - 1978 y 1993 - 1996 (Reyes, 1996, Cerano *et al.*, 2012), a lo cual se atribuye la disminución en el incremento anual de las especies de este estudio en los periodos antes mencionados en los sitios de estudio.



**Figura 7.** Diámetro acumulado versus incremento unitario del diámetro en diferentes gradientes altitudinales.

El crecimiento radial es muy sensible a la variabilidad climática (Rodríguez *et al.*, 2014), lo que sugiere que ligado al déficit hídrico, modulan la respuesta del descenso en el crecimiento de los árboles. Además guarda relación con procesos de competencia y ello modula la respuesta de los individuos a diferentes grados de disponibilidad hídrica (Linares *et al.*, 2009), además de una fuerte asociación entre el potencial de crecimiento y el origen altitudinal de la población (Sáenz, 2004). En un estudio realizado en la Sierra Madre Occidental, en la parte alta de la cuenca del Río Nazas (RH 36), se determinó que el fenómeno del ENSO modula la variabilidad climática regional, intensas sequías a consecuencia del fenómeno del ENSO en su fase la niña se han documentado para los años 1950 - 1957, 1960 - 1964, 1974 - 1975, 1988 - 1989, 1995 - 1996 y 1998 - 1999 afectando principalmente los estados de Chihuahua y Durango (Cerano *et al.*, 2011b), lo anterior demuestra que además de la variabilidad regional, el fenómeno del ENSO (La Niña) tiene influencia en el crecimiento de las especies en esta zona de estudio (Chihuahua).

Así mismo, los períodos que alcanzaron incrementos favorables se observan para los años 1960, en *P. engelmannii* y *P. durangensis* del GII y *P. engelmannii* en el GIII; 1968 - 1969 en *P. arizonica*, *P. engelmannii* y *P. durangensis* para los GII y GIII; 1972 en *P. engelmannii* del GII y *P. arizonica* en el GIII; 1983 para *P. arizonica* en el GI y *P. engelmannii* en el GII y *P. durangensis* en el GIII, finalmente todas las especies durante el año 2009 (Figura 7). Los años en que mostraron incrementos radiales favorables corresponden a eventos con condiciones de lluvia por arriba de la media, condición modulada por el ENSO en su fase cálida El Niño (Cerano *et al.*, 2011b).



**Tabla 5.** Análisis de covarianza para denotar diferencias en incremento radial de *P. arizonica* usando como covariables: densidad (árboles ha<sup>-1</sup>) y área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

	FV	F	P- valor	Coficiente	N	C.V	G	Medias	n	E.E
ICA	Modelo	0.04	0.8507 <sup>NS</sup>				III	1.721	96	0.14A
	Gradiente	0.04	0.8507 <sup>NS</sup>		192	77.64	I	1.758	96	0.14A
	Densidad	sd	sd	0						
	Modelo	0.02	0.9825 <sup>NS</sup>				III	1.722	96	sd A
	Gradiente	-4.20E-12	0.9999 <sup>NS</sup>		192	77.64	I	1.758	96	sd A
	Área basal	0	0.9999 <sup>NS</sup>	4.50E-03						
IMA	Modelo	1.52	0.2185 <sup>NS</sup>				III	2.77	96	0.10A
	Gradiente	1.52	0.2185 <sup>NS</sup>		192	35.06	I	2.95	96	0.10A
	Densidad	sd	sd	0						
	Modelo	0.76	0.47 <sup>NS</sup>				III	2.77	96	sd A
	Gradiente	-1.80E-10	0.9999 <sup>NS</sup>		192	35.15	I	2.95	96	sd A
	Área basal	0	0.9999 <sup>NS</sup>	-0.01						

F.V. = fuente de variación; F = valor de F; N = Número de observaciones totales; CV = coeficiente de variación; G = gradiente; n = número de observaciones por tratamiento; EE = error estándar; NS = no significativo; \* = significativo ( $p < 0.05$ ); \*\* = altamente significativo ( $p < 0.01$ ); sd = sin dato; Las letras distintas indican diferencias significativa ( $p < 0.05$ ), según prueba de LSD Fisher.

### 5.5. Análisis de covarianza e incrementos radiales

El análisis de covarianza determinó que para *P. arizonica* el área basal y la densidad no influyen estadísticamente ( $p > 0.05$ ) en el ICA e IMA radial en el GI y GIII (Tabla 5; Figura 6 A, B). Para *P. engelmannii* la densidad y el área basal no influyen de manera estadística ( $p > 0.05$ ) en el ICA (Tabla 6), sin embargo, para el IMA, tanto la densidad como el área basal influyen de manera significativa ( $p < 0.01$ ), afectando los incrementos del GII (Tabla 6; Figura 6 D, E).

Finalmente el análisis de covarianza demostró que para *P. durangensis* el área basal no influye de manera significativa ( $p > 0.05$ ) en el ICA e IMA, sin embargo, la densidad (árboles  $ha^{-1}$ ) influye de manera significativa ( $p < 0.05$ ) en ambas variables, afectando en sus incrementos en el gradiente II (Tabla 7; Figura 6 G, H).

**Tabla 6.** Análisis de covarianza para denotar diferencias en incremento radial de *P. engelmannii* usando como covariables: densidad (árboles  $ha^{-1}$ ) y área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ).

	FV	F	P- valor	Coefficiente	N	C.V	G	Medias	n	E.E
ICA	Modelo	0.104	0.747 <sup>NS</sup>				II	1.347	70	0.1 A
	Gradiente	0.104	0.747 <sup>NS</sup>		140	54.033	III	1.387	70	0.1 A
	Densidad	sd	sd	0						
	Modelo	1.06	0.347 <sup>NS</sup>				II	57739.46	70	407.60 A
	Gradiente	2.02	0.157 <sup>NS</sup>		140	53.83	III	57742.19	70	407.60A
	Área basal	2.02	0.157 <sup>NS</sup>	578879.48						
IMA	Modelo	153.63	0.0001**				II	1.46	70	0.02A
	Gradiente	153.63	0.0001**		140	12.01	III	1.88	70	0.02B
	Densidad	sd	sd	0						
	Modelo	87.56	0.0001**				II	-34946.73	70	109.22A
	Gradiente	10.7	0.0014**		140	11.6	III	34950.97	70	109.22B
	Área basal	10.7	0.0014**	3.50E+05						

F.V. = fuente de variación; F = valor de F; N = Número de observaciones totales; CV = coeficiente de variación; G = gradiente; n = número de observaciones por tratamiento; EE = error estándar; NS = no significativo; \* = significativo ( $p < 0.05$ ): \*\* = altamente significativo ( $p < 0.01$ ); sd = sin dato; Las letras distintas indican diferencias significativa ( $p < 0.05$ ), según prueba de LSD Fisher.

**Tabla 7.** Análisis de covarianza para denotar diferencias en incremento radial de *P. durangensis* usando como covariables: densidad (árboles ha<sup>-1</sup>) y área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

	FV	F	P- valor	Coefficiente	N	C.V	G	Medias	n	E.E
	Modelo	3.96	0.0483*				II	1.46	81	0.07A
	Gradiente	3.96	0.0483*		162	42.47	III	1.67	81	0.07B
	Densidad	sd	Sd	0						
<b>ICA</b>	Modelo	1.97	0.1431				II	1.46	81	sdA
	Gradiente	-6.00E-12	0.9999 <sup>NS</sup>		162	42.6	III	1.67	81	sdB
	Área basal	0	0.9999 <sup>NS</sup>	-2.70E-04						
	Modelo	102.87	0.0001**				II	1.74	81	0.03A
	Gradiente	102.87	0.0001**		162	11.96	III	2.11	81	0.03B
	Densidad	sd	Sd	0						
<b>IMA</b>	Modelo	51.11	0.0001**				II	1.74	81	sdA
	Gradiente	-1.60E-10	0.9999 <sup>NS</sup>		162	12	III	2.11	81	sdB
	Área basal	0	0.9999 <sup>NS</sup>	0.01						

F.V. = fuente de variación; F = valor de F; N = Número de observaciones totales; CV = coeficiente de variación; G = gradiente; n = número de observaciones por tratamiento; EE = error estándar; NS = no significativo; \* = significativo ( $p < 0.05$ ); \*\* = altamente significativo ( $p < 0.01$ ); sd = sin dato; Las letras distintas indican diferencias significativa ( $p < 0.05$ ), según prueba de LSD Fisher.

### 5.6. IMA máximo, basado en análisis dendrocronológico

Los resultados demuestran que el modelo de Schumacher (UMAFOR 08 - 05 de San Juanito, 2013) se ajusta bien a los datos de diámetro obtenidos mediante análisis dendrocronológico, en este sentido, los ajustes según  $R^2$  van desde 0.8690 hasta 0.9380, con coeficientes de variación desde 28.4680 hasta 41.9636, sin embargo todos los modelos fueron estadísticamente significativos (Tabla 8). De esta manera se determinaron las curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro, las que indicaron la edad de culminación de los incrementos en diámetro.

El turno es el número de años correspondiente a la edad de los árboles o masas forestales, a la cual pueden ser cortados para la cosecha principal (García, 2015). Se define el turno absoluto como la edad a la que se obtiene la máxima producción leñosa sin importar la naturaleza o calidad de los productos (Velarde, 2002), punto de intersección entre las curvas de ICA e IMA (López y Villalba, 2015). Los resultados demuestran que esta condición es donde el IMA alcanza su máxima expresión, obtenido para las tres especies a diferente gradiente altitudinal. En *P. engelmannii* se muestran los ajustes más bajos, esto demuestra mayor variación en diámetro a una misma edad.

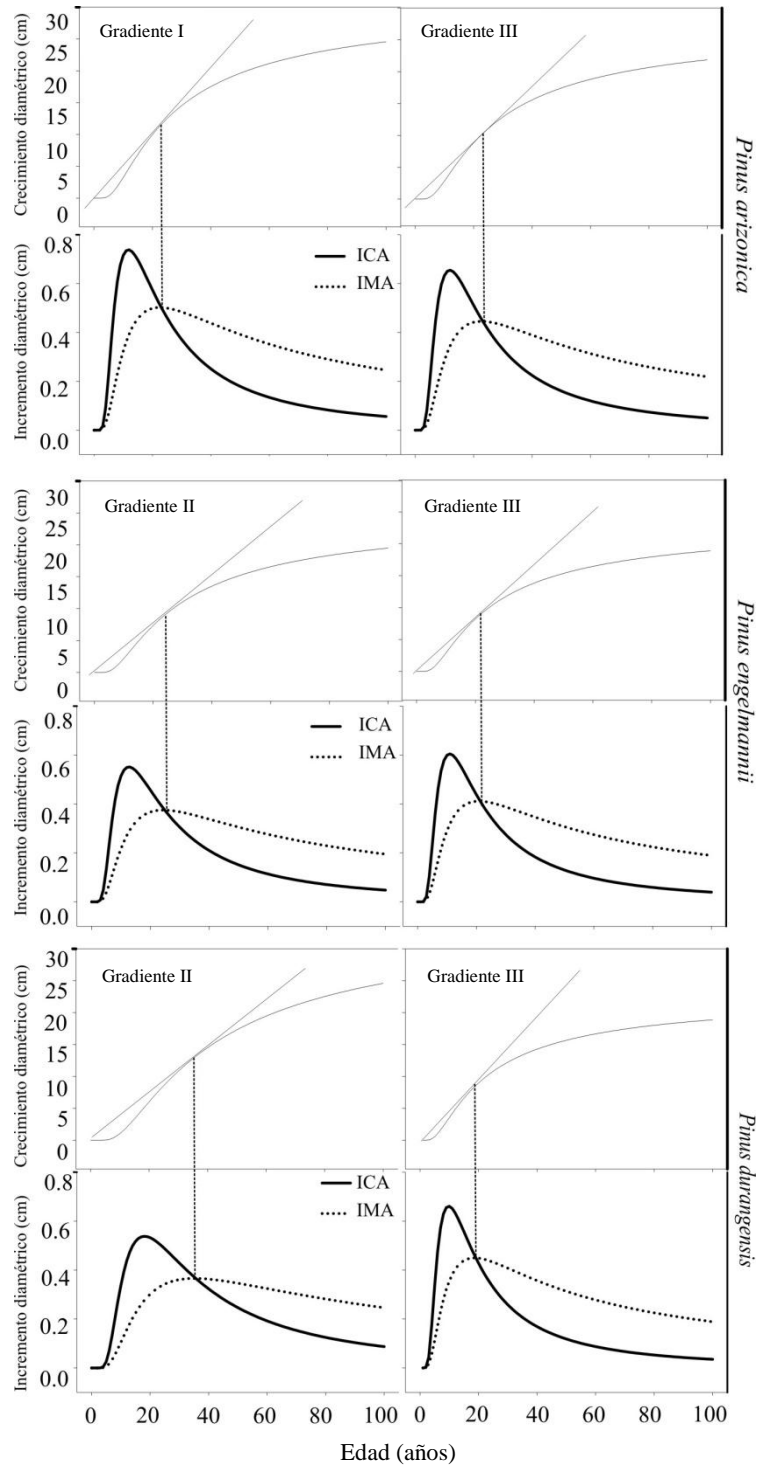
*P. arizonica* se registró en el GI y GIII, el ICA máximo culminó a los 14 años en el GI, alcanzando un valor de 0.75 cm, mientras el IMA máximo a los 23 años en 0.5cm (punto de intersección ICA e IMA), logrado en un diámetro de 12 cm. En el GIII el ICA culminó a los 10 años en 0.68 cm, mientras el IMA a los 21 años en 0.45cm, logrado en un diámetro de 10 cm (Figura 8). *P. engelmannii* en GII el ICA culminó a los 15 años, donde alcanzó un valor de 0.58 cm, el IMA expresado a los 26 años en 0.38cm. En el GIII el ICA culminó a los 10 años en 0.61 cm, mientras el IMA a los 21 años en 0.41cm, logrado en un diámetro de 10 cm para los dos gradientes (Figura 8).

Finalmente *P. durangensis* obtuvo los mejores incrementos, en el GII, el ICA culminó a los 19 años, con un valor de 0.58 cm, el IMA máximo culminó a los 37 años en 0.38cm, logrado en un diámetro de 14 cm. En el GIII el ICA culminó a los 10 años en 0.70 cm, mientras el IMA máximo a los 19 años en 0.42 cm, punto de intersección ICA e IMA, logrado en un diámetro de 9 cm (Figura 8).

**Tabla 8.** Estadísticos del modelo de crecimiento para cada especie de pino por gradiente altitudinal en Bocoyna, Chihuahua.

G	Especie	<i>a</i> (E.E.)	<i>b</i> (E.E.)	CME	SCT	R <sup>2</sup> aj.	Sxy	Prom. y	CV	Valor de F	Pr > F
I	<i>P. arizonica</i>	5.0360(0.0154)	-22.5390(0.7160)	952.1	214375	0.8900	30.8561	81.7243	37.7563	10021.5	<.0001
III	<i>P. arizonica</i>	4.9211(0.0190)	-22.6572(0.7583)	393.3	625027	0.9280	19.8317	63.6746	31.1455	7359.93	<.0001
II	<i>P. engelmannii</i>	4.8234 (0.0264)	-24.4057(1.1491)	612.2	502760	0.8690	24.7427	57.4869	30.2758	3569.32	<.0001
III	<i>P. engelmannii</i>	4.7573(0.0403)	-20.8272(1.3870)	410.4	171629	0.8872	20.2583	51.2562	39.5236	1856.14	<.0001
II	<i>P. durangensis</i>	5.1634(0.0225)	-35.1559(1.0609)	680.9	112027	0.8805	26.0940	62.1825	41.9636	7243.90	<.0001
III	<i>P. durangensis</i>	4.7329(0.0210)	-18.5884(0.6987)	227.9	269513	0.9380	15.0964	53.0292	28.4680	5546.80	<.0001

G = gradiente; *a* y *b* = coeficientes de regresión del modelo de Schumacher ± error estándar (E.E.); CME = cuadrado medio del error; SCT = suma de cuadrados totales; R<sup>2</sup> aj. = coeficiente de determinación ajustado; Sxy = error estándar del modelo (cm); Prom. y = valor promedio de valores observados de biomasa total (cm); CV = coeficiente de variación (%); Valor de F = valor de F; Pr > F = probabilidad de F.



**Figura 8.** Relación entre crecimiento diamétrico acumulado (gráficos superiores) y sus correspondientes ICA e IMA (gráficos inferiores).

En los bosques de esta región alcanzan un diámetro normal de 35 a 40 cm, en un turno promedio de 90 años (Silva, 2009). Lo cual muestra en el presente estudio que la culminación máxima en los incrementos en las tres especies a diferente gradiente altitudinal, se obtuvieron a edades tempranas, alcanzados en un diámetro promedio de 11 cm, muy por abajo del mencionado por Silva (2009), lo cual atribuye a la muestra obtenida para los tres gradientes, incluye en su mayoría categorías diamétricas pequeñas, de 5 a 35 cm en su mayoría y muy bajo porcentaje por arriba de los 40 cm. Diferentes autores consideran que para el cálculo de incrementos tanto de ICA e IMA con el objetivo de establecer el turno, el muestreo de árboles se debe enfocar a individuos que presenten una estructura adulta y que las copas se encuentren en la capa superior del bosque, árboles dominantes (López y Villalba, 2015); seleccionar los árboles de mayor diámetro, aparentemente de mayor edad (Meya *et al.* 2001; Lamas y Rozas, 2007). Sin embargo para el presente estudio el objetivo fue de conocer los incrementos máximos en base a las condiciones de cada gradiente altitudinal, las cuales se determinaron coincidiendo con un turno absoluto.

## 6. CONCLUSIONES

Este estudio aporta información de los procesos de crecimiento e incremento mediante técnicas dendrocronológicas a diferente gradiente altitudinal, en los bosques de San Juanito, Bocoyna, Chihuahua. El efecto altitudinal, competencia entre árboles vecinos y el clima, son los factores de predisposición más importantes en la tendencia del decaimiento del ancho del anillos, a través del tiempo. Los patrones temporales de incremento en las tres especies son coincidentes entre sí, los máximos y mínimos incrementos radiales de las especies están asociados al efecto altitudinal, ligado a la estructura y composición de cada gradiente, determinando un superávit y déficit hídrico regional, respectivamente. *P. engelmannii* y *P. durangensis* presentan diferencias significativas en incremento radial, no obstante *P. arizonica* no presenta diferencia significativa en incremento radial a diferente gradiente altitudinal, como consecuencia del número de árboles y el área basal por ha. El IMA máximo fue obtenido en el punto de intersección entre las curvas de ICA e IMA para las tres especies a diferente gradiente altitudinal, sin embargo, este se alcanzó a edades tempranas en un diámetro promedio de 11 cm.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

Becerra, M. V., y Zevallos P, P. 2013. Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllumrospigliosii* Pilger y *Prumnopitysharmsiana* Pilger a través del estudio dendrocronológico en San Ignacio, región Cajamarca - Perú. El ceprosimad 2(1): 96 - 10.

Brienen, R., y Zuidema P. 2003. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. Promab / Igema, Informe Técnico N° 7, 33 p.

Cacha, R. y Saravia P. 2014. Determinación del crecimiento de la Cacha (*Aspidosperma quebracho blanco*) mediante el método de dendrocronología. documento científico N° 5, 32 p.

Cerano Paredes, J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno - primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 152 p.

Cerano Paredes, J., J. Villanueva Díaz, P. Z. Fulé, J. G. Arreola Ávila, I. Sánchez Cohen y R. D. Valdez Cepeda. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y Bosques* 15(2): 27 - 44.

Cerano Paredes, J., J. Villanueva Díaz, R. D. Valdez Cepeda, J. Méndez González y V. Constante García. 2011a. Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Publicación Especial* (2): 235 - 249.

Cerano Paredes, J., J. Villanueva Díaz, R. D. Valdez Cepeda, J. G. Arreola Ávila y V. Constante García. 2011b. El niño oscilación del sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Nazas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Edición Especial (17): 207 - 215.*

Cerano Paredes, J., J. Villanueva Díaz, R. D. Valdez Cepeda, V. Constante García, J. L. González Barrios y J. Estrada Ávalos. 2012. Precipitación reconstruida para la parte alta de la cuenca del río Nazas, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3(10): 7 - 23.*

Cerano Paredes, J., J. Villanueva - Díaz, R. Cervantes - Martínez, P. Fulé, L. Yocom, G. Esquivel - Arriaga, E. Jardel - Peláez. 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque 36(1): 41 - 52.*

Candel P. D., Linares, J. C., Viñegla, B., Martínez G. E., Dadl, T., Rublo, E., García M. F., Andrés A. M., López S. F., y Lucas, B. M., 2013. Patrones de crecimiento y respuesta al cambio climático a lo largo de un gradiente de coníferas forestales. *Sociedad Española de Ciencias Forestales, Vitoria - Gasteiz. 10 p.*

Daniel, T., J. Helms, F. Baker. 1982. *Principios de silvicultura. Segunda Ed. Traducción del inglés por R. Elizondo M. McGraw Hill. México. 490 p.*

Díaz, B., A. 1997. Turno forestal económicamente óptimo: Una revisión. *Economía Agraria (180):181 - 224.*

Farjon, A., J. A. Pérez de la Rosa and B. T. Styles. 1997. *A field guide to the pines of Mexico and Central America, Kew Publishing, Royal Botanical Garden, Oxford. 147 p.*

García, R. M. 2015. Estudio de cuenca de abasto región centro - occidente “Urique, Bocoyna y Ocampo” Chihuahua, México. 206 p.

Gadow, K., Sánchez, O. S., Aguirre, C. O. 2004. Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques* 10(2): 3 - 16.

Giraldo, V. D., y del Valle J. I. 2012. Modelación del crecimiento de *Albizia niopoides* (Mimosaceae) por métodos dendrocronológicos. *Revista de Biología Tropical* 60(3): 1117 - 1136.

Granados, S. D., López R. G., Hernández G. M. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1): 67 - 83.

Gutiérrez, E. 2008. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. Departamento de Ecología Facultad de Biología Universidad de Barcelona. *Arqueología nautica mediterrània* X. Nieto i M.A., 303 - 315. (fecha de consulta: 05 octubre 2015). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/228769173>.

Imaña, E. J., y Encinas B. O. 2008. *Epidometría forestal*. Brasil, Venezuela. Relator 1ra edición. 68 p.

IMTA, 2010 *Extractor rápido de información climatológica III (ERIC)*, Software, Jiutepec, Morelos, México.

INEGI. 2009. *Carta Edafológica (Chihuahua) Escala 1: 50 000*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.

Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Chapingo, Mexico. Universidad Autónoma Chapingo. 279 p.

Lamas, S., y Rozas V. 2007. Crecimiento radial de las principales especies arbóreas de la isla de Cortegada (Parque Nacional de las Islas Atlánticas) en relación con la historia y el clima. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16(1): 3 - 14.

López, L., y Villalba R. 2015. Criterios de gestión forestal para 12 especies de los Bosques Nativos Tropicales de Bolivia a través de métodos dendrocronológicos. *Ecosistemas* 24(2): 24 - 29.

Linares, J. C., Tiscar, P. A., Camarrero, Sangüesa, B, C., Domínguez C, M., y Carreira, J. A. 2009. Efectos del cambio climático sobre el crecimiento de *Abies pinsapo* y *Pinus nigra salzmannii* en el sur de la península ibérica: Tendencias pasadas, presentes y futuras. *Impactos y Vulnerabilidad* 255 - 269 p.

Meya, D., González J. M., y Aunós A. 2001. Evolución del crecimiento radial en un rodal a dulto de *Pinus nigra*. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 10(1): 96 - 110.

Moglia, J., G. Giménez A., M. González D., y Gerez R. 2010. Caracterización de los anillos de crecimiento y su relación con la densidad básica de la madera en *Eucalyptus camaldulensis*. *Revista de Ciencias Forestales - Quebracho* 18(1,2): 47 - 57.

Medrano, M., 2015. Relación diversidad arbórea y gradientes de altitud, exposición y pendiente en la región de El Salto, Durango, Múnich, GRIN Verlag, 65 p.

Rodríguez, F. F., Pompa G. M., Mallén R. C., Goche T. R. 2014. Modelos dendroclimáticos para crecimiento radial forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(26): 1 - 38.

Rehfeldt, G. E. 1988. Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): A synthesis. *Silvae Genetica* 37(3 - 4): 131 - 135.

Reyes Ch. L. 1996. Identificación y análisis de sequía. Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México. 208 p.

Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp. (fecha de consulta: 20 octubre 2015). Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxC17.pdf>

Silva, R. S. 2009. Estudio regional forestal. Unidad de manejo forestal San Juanito A.C., 266 p.

Sáenz, E. M., Rosales C. M., Rocha G. N., Gallegos I. J., González L. R. 2010. Contenido fenólico y acción antiocidante de extractos de acículas de *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote*. *Madera y Bosques* 16(3): 37 - 48.

Sáenz, R. C. 2004. Zonificación estatal y altitudinal para la colecta y movimiento de semillas de coníferas en México. Manejo de Recursos Genéticos Forestales, Segunda edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco 66 - 76 p.

Stahle, D.W., D. J. Burnette, J. Villanueva, J. Cerano, F. K. Fye, R. D. Griffin, M. K. Cleaveland, D. K. Stahle, J. R. Edmondson and K. P. Wolff. 2012. Tree - ring analysis of ancient baldcypress trees and subfossil wood. *Quaternary Science Reviews* (34): 1 - 15.

Stokes, M. A., and T. L., Smiley. 1995. *An Introduction to Tree Ring Dating*, University of Arizona Press, Tucson. 68 p.

Sánchez S, R., Navarro C, R. M., Camarero, J. J., Fernández C, A., Swetnam, T.W., Zavala, M.A. 2012. Vulnerabilidad frente a la sequía de repoblaciones de dos especies de pinos en su límite meridional en Europa. *Ecosistemas* 21(3): 31 - 40.

UMAFOR. 2013. *Sistema Biométrico. Región de manejo forestal San Juanito, A. C., Chihuahua*. 79 p.

Villanueva Díaz, J., J. Cerano Paredes, J. Estrada Ávalos, R. Morán Martínez, V. Constante García. 2010. Precipitación y gasto reconstruido en la cuenca baja del río Nazas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1): 25 - 37.

Velázquez, M. A., M. R. Keyes y G. Zárate 1985. Influencia de la intercepción de la luz solar en el crecimiento de la regeneración artificial de *Pinus hartwegii* Lindl. *In: Memoria de la III Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Publicación Especial* (48): 579 - 594.

Velarde, R. J. 2002. Estudio de crecimiento y elaboración de tablas de volumen para *Pinus lawsoni* y *Pinus oocarpa*. Diplomado: “Aprovechamiento, conservación y restauración de los recursos forestales” Universidad Autónoma de Chapingo. 72 p.

Viveros, V. H., Sáenz, R. C., López, U. J., y Hernández, V. J. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. En campo Agrociencia Vol. 39(5): 575 - 587.