



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN EL  
CRECIMIENTO DE *Abies religiosa* DE LOS PARQUES NACIONALES  
IZTA-POPOCATÉPETL Y EL CHICO HIDALGO

Ciencias Ambientales

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGA

P R E S E N T A

YARELI SOTO CARRASCO

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ

LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA



NOVIEMBRE 2014

MÉXICO, D.F.

---

---



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## ***Dedicatoria***

*A mi familia, porque aunque la distancia nos separe el amor será el mismo siempre.*



## **Agradecimientos**

*A mi madre, por ser la mujer fuerte que siempre ha sido, por ver siempre por tus hijos y no rendirte jamás, te amo.*

*A mi padre, por inculcarnos desde pequeños el amor al estudio y no dejar salirnos del camino, por enseñarme que somos capaces de hacer lo que nos proponamos, te amo.*

*A mis hermanos, por la compañía diaria y aunque a veces los regañe mucho los amo a todos.*

*A Alejandro, por ser la persona que siempre está a mi lado apoyándome y sonriendo, gracias por todo, te amo mucho.*

*A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por permitirme ser parte de la carrera de Biología y a todos los profesores que me brindaron su conocimiento.*

*Al M en C. Germán Calva Vásquez, por brindarme su espacio en el laboratorio, por el apoyo en la elaboración del proyecto, las pláticas y los regaños, algún día sabré tanto como usted, lo admiro y aunque no lo crea lo respeto mucho.*

*Al M en C. Armando Cervantes Sandoval, por las aportaciones para la mejora del trabajo, porque me abrió los ojos al mundo de la estadística, mi admiración y respeto.*

*Al Dr. Gerardo Cruz Flores, por las correcciones oportunas al trabajo, mi admiración y respeto.*

*A la M en C. María Beatriz Martínez Rosales y la Bió. Maricela Arteaga Mejía, por sus recomendaciones y aportaciones a este trabajo, mi admiración y respeto.*

*A todo lo que engloba la naturaleza, es tan inmenso lo que se puede aprender de ella, que más se puede pedir cuando te vez en la cima de la montaña.*

*A los colegas del laboratorio, por la ayuda en campo y los buenos momentos.*

*A mí, por concluir esta etapa, aún hay mucho que estudiar y caminos que recorrer, esto sólo es el comienzo.*



## Manifiesto de Skyrunning

<<Besa o mata. Besa la gloria o muere en el intento. Perder es morir, ganar es sentir. La lucha es lo que diferencia una victoria, a un vencedor. ¿Cuántas veces has llorado de rabia y de dolor? ¿Cuántas veces has perdido la memoria, la voz y el juicio por agotamiento? ¿Y cuántas veces, en esta situación, te has dicho: «¡Otra vez! ¡Un par de horas más! ¡Otro ascenso! El dolor no existe, solo está en tu mente. Contrólalo, destrúyelo, elimínalo y sigue. Haz sufrir a tus rivales. Mátales. Soy egoísta, ¿verdad?

El deporte es egoísta, porque se debe ser egoísta para saber luchar y sufrir, para amar la soledad y el infierno. Detenerse, toser, padecer frío, no sentir las piernas, tener náuseas, vómitos, dolor de cabeza, golpes, sangre... ¿Existe algo mejor? El secreto no está en las piernas, sino en la fuerza de salir a correr cuando llueve, hace viento y nieva; cuando los relámpagos prenden los árboles al pasar por su lado; cuando las bolas de nieve o las piedras de hielo te golpean las piernas y el cuerpo desnudo contra la tormenta y te hacen llorar y, para proseguir, debes enjuagarte las lágrimas para poder ver las piedras, los muros o el cielo.

Renunciar a unas horas de fiesta, a unas décimas de nota, decir «¡no!» a una chica, a las sábanas que se te pegan en la cara. Ponerle huevos y salir bajo la lluvia hasta que te sangren las piernas debido a los golpes que te has dado al caer al suelo por el barro, y levantarte de nuevo para seguir subiendo... hasta que tus piernas griten a pleno pulmón: «¡Basta!». Y te dejen colgado en medio de una tormenta en las cumbres más lejanas, hasta la muerte. Las mallas empapadas por la nieve que arrastra el viento y que se te pega también en la cara y te hiela el sudor. Cuerpo ligero, piernas ligeras. Sentir cómo la presión de tus piernas, el peso de tu cuerpo, se concentra en los metatarsos de los dedos de los pies y ejerce una presión capaz de romper rocas, destruir planetas y desplazar continentes. Con ambas piernas suspendidas en el aire, flotando como el vuelo de un águila y corriendo más veloces que un guepardo. O bajando, con las piernas deslizándose por la nieve y el barro, justo antes de impulsarte de nuevo para sentirte libre para volar, para gritar de rabia, odio y amor en el corazón de la montaña, allá donde solo los más intrépidos roedores y las aves, agazapados en sus nidos bajo las rocas, pueden convertirse en tus confesores. Solo ellos conocen mis secretos, mis temores. Porque perder es morir.

Y uno no puede morir sin haberlo dado todo, sin romper a llorar por el dolor y las heridas, uno no puede abandonar. Hay que luchar hasta la muerte. Porque la gloria es lo más grande, y solo se debe aspirar a la gloria o a perderse por el camino habiéndolo dado todo. No vale no luchar, no vale no sufrir, no vale no morir... Ha llegado la hora de sufrir, ha llegado la hora de luchar, ha llegado la hora de ganar.>>



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"  
DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
P R E S E N T E.

Comunico a usted que la alumna **SOTO CARRASCO YARELI**, con número de cuenta **306309355**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **27 de noviembre** a las **10:00 hrs.**, para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

**PRESIDENTE** M. en C. **ARMANDO CERVANTES SANDOVAL**

**VOCAL** M. en C. **GERMÁN CALVA VÁSQUEZ**

**SECRETARIO** Dr. **GERARDO CRUZ FLORES**

**SUPLENTE** Bió. **MARICELA ARTEAGA MEJÍA**

**SUPLENTE** M. en C. **MARÍA BEATRÍZ MARTÍNEZ ROSALES**

El título de la tesis que presenta es: **Influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de *Abies religiosa* de los Parques Nacionales Izta-popocatepetl y el Chico Hidalgo.**

Opción de titulación: Tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
México, D.F., a 12 de noviembre de 2014.

**DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ**  
**DIRECTOR**  
**DIRECCION**

RECIBI  
OFICINA DE EXÁMENES  
PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BO.  
M. en C. **ARMANDO CERVANTES SANDOVAL**  
JEFE DE CARRERA



## Contenido

<b>Resumen</b>	<b><i>xi</i></b>
<b>SUMMARY</b>	<b><i>xiii</i></b>
<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación	4
1.2 Problemática	6
<b>II. Objetivos</b>	<b>7</b>
2.1 Objetivos particulares	7
<b>III. Hipótesis</b>	<b>8</b>
<b>IV. Antecedentes</b>	<b>9</b>
<b>V. Marco teórico</b>	<b>12</b>
<b>1. Hábitat de la especie</b>	<b>12</b>
<b>2. Factores Climáticos</b>	<b>17</b>
2.1 Precipitación	18
2.2 Temperatura	20
2.2.1 Temperaturas dentro del Bosque	22
2.2.2 Temperatura y el crecimiento de la planta	23
<b>3. Factores de localización</b>	<b>25</b>
3.1 La luz y el crecimiento de los árboles.	26
3.2 Fotocontrol de la respuesta vegetal	26
<b>4. Viento</b>	<b>27</b>
<b>5. Contaminantes atmosféricos</b>	<b>28</b>
<b>6. Humedad atmosférica</b>	<b>28</b>
<b>7. Madera</b>	<b>29</b>
7.1 Estructura de la Madera	29
7.2 Composición Química de la Madera	31
<b>8. Anillos de crecimiento</b>	<b>33</b>
8.1 Falsos anillos	33
8.2 Crecimiento de un anillo	36
8.2.1 Crecimiento en diámetro	37
8.2.2 Crecimiento en altura	39
8.2.3 Importancia del estudio del crecimiento	39
<b>9. Modelo de Correlación</b>	<b>40</b>



<b>VI. Descripción de la zona de estudio</b>	<b>41</b>
6.1 Parque Nacional Izta-Popo-Zoquiapan	41
6.1.1 Clima	41
6.1.2 Suelo	42
6.1.3 Vegetación	42
6.2 Parque Nacional El Chico	44
6.2.1 Hidrología	44
6.2.2 Suelo	44
6.2.3 Climatología	44
6.2.4 Vegetación	45
<b>VII. Método</b>	<b>47</b>
7.1 Fase de campo	47
7.2 Fase de laboratorio	49
7.3 Fase experimental	51
7.4 Fase de Gabinete	54
<b>VIII. Análisis y discusión de resultados</b>	<b>56</b>
8.1 Crecimiento Total de Oyamel de Izta Popo y El Chico	56
8.3. Ganancia de Crecimiento Izta Popo	62
8.4 Registros Climáticos del SMN (Servicio Meteorológico Nacional) de por lo menos 30 años atrás en el Parque Nacional Izta Popo valores promedios.	65
8.4.1 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de <i>Abies religiosa</i> y valores promedio de Temperatura	68
8.4.2 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de <i>Abies religiosa</i> y valores promedio de Precipitación	70
8.5 Residuales de la Ganancia de Crecimiento	71
8.6 Ganancia de Crecimiento El Chico	72
8.7 Registros Climáticos del SMN (Servicio Meteorológico Nacional) de por lo menos 30 años atrás en el Parque Nacional El Chico Hidalgo valores promedios.	75
8.7.1 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de <i>Abies religiosa</i> y valores promedio de Temperaturas máximas en el Chico, Hidalgo, de 1980 a 2010.	77
8.7.2 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de <i>Abies religiosa</i> y valores promedio de precipitación.	78
8.8 Residuales de la Ganancia de Crecimiento del Chico	79
8.9 Relación entre las Ganancias de Crecimiento de Izta Popo y El Chico de 1980 al 2010	80
8.10 Comparacion multiple de la medias de las Ganancias de Crecimiento del Parque Nacional Mineral El Chico (1) e Izta Popo (2).	82





8.11 Relación entre los promedios de Temperaturas Máximos en ambas zonas de estudio	83
8.12 Comparacion multiple de la medias de las temperaturas maximas del Parque Nacional Mineral El Chico (1) e Izta Popo (2).	84
8.13 Relación entre los promedios de Precipitación de ambas zonas	85
8.14 Comparacion múltiple de la Precipitacion media anual del Parque Nacional Mineral El Chico (1) e Izta Popo (2).	85
8.15 Análisis de Correlación de la Ganancia de Crecimiento de ambas zonas vs Temperatura y Precipitación.	87
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>X. LITERATURA CITADA</b>	<b>91</b>



## Figuras

<i>Figura 1. Ubicación del bosque de oyamel y la relación con comunidades de mariposa Monarca.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2a de Abies religiosa tomada del Parque Nacional Izta Popo.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3. Adecuación bajo escenarios de cambio climático para Abies religiosa al 2050 (a: base; b: GFDL-CM-2.0; c: MPO-ECHAM-5; d: HADLEY) .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4. Radiación en bosques de Oyamel .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5. Árboles que crecen donde el clima rara vez limita los procesos de crecimiento producen anillos uniformemente amplios. Los anchos de los anillos proporcionan poco o ningún registro de las variaciones en el clima denominados complacientes. 4b) Crecimiento de árboles en sitios donde los factores climáticos son frecuentemente limitantes, produciendo anillos que varían en el ancho año con año dependiendo la severidad del clima denominados sensitivos (Fritz, 1976). .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6. Secciones que se establecen para el estudio de la estructura de la madera (Gracia, 1978)......</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Composición Química de la madera (Fengel et.,al. 1984). .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Núcleo de Abies religiosa tomadas de Izta Popo que muestra anillos falsos en su cronología. ...</i>	<i>34</i>
<i>Figura 9. Muestra de anillos falsos, que aparecen como bandas angostas de traqueidas de paredes gruesas (madera tardía), rodeada por ambos lados de paredes delgadas y traqueidas de diámetro amplio (madera temprana). (Kuo and McGinnes, 1973). .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10. Mapa de zonificación del Parque Nacional Iztapopo (tomado de CONANP, 2013) el punto rojo representa la zona del parque muestreada.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 11. Mapa de zonificación del Parque Nacional Mineral El Chico, Hgo (Tomada de CONANP, 2005) el punto rojo representa la zona del parque muestreada.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 12. Obtención de los núcleos de crecimiento de las zonas de estudio. Barrenamiento con el taladro Pressler y Extracción del núcleo con el extractor de incrementos.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13. Estufa Kimet para el secado de los núcleos de oyamel extraídos.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 14. Observación con estereoscopio para la datación segura de los anillos de crecimiento.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 15. Escáner WinDENDRO con los núcleos extraídos de las zonas de estudio. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 16. Ejemplo de la estandarización de anillos de crecimiento. La gráfica de la derecha representa el cociente de los valores reales entre los predichos.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 17. Anchuras de promedios de anillos de crecimiento de los Parques Nacionales Izta Popo y El Chico Hidalgo.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 18. Concentración histórica de las partículas suspendidas totales registrados en la Ciudad de México. Las líneas discontinuas ilustran las emisiones volcánicas del Chichonal (Chiapas) y Popocatépetl (Estado de México). .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 19. El follaje escaso en individuos de oyamel de Izta Popo, permite una mayor entrada de luz, lo que provoca que el microclima cambie, aumentando la temperatura y disminuyendo la humedad. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 20. Vista de las copas de los árboles oyamel en el paraje “Estación experimental”, Mineral El Chico .....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 21. Software WinDENDRO que muestra el Path para la cuenta de los anillos en los núcleos extraídos. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 22. Ganancia de Crecimiento de Izta Popo de 1901 al 2012, la línea roja representa la media de 0.5026 mm.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23. Ganancia de crecimiento en anillos de Oyamel colectados en Izta Popo a partir de 1961 al 2012.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24. Variaciones de temperaturas máximas anuales (°C) y precipitaciones medias anuales (mm) en el Parque Nacional Izta Popo de 1962 a 2010.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 25. Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los arboles de Oyamel y Temperatura máx. Izta Popo .....</i>	<i>68</i>



<i>Figura 26. Relación entre la Ganancia de Crecimiento y total de Precipitación Izta Popo .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 27. Residuales Parque Nacional Izta Popo.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 28. Ganancia de Crecimiento de El Chico de 1854 al 2012, la línea roja representa la media de 0.5018 mm.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 29. Ganancia de Crecimiento El Chico de 1980 al 2010.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 30. Variaciones de Temperatura (°C) y Precipitación (mm) en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo de 1980 a 2010. ....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 31. Relación entre la Ganancia de Crecimiento y Temperatura máx. El Chico.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 32. Relación entre la Ganancia de Crecimiento y el total de la Precipitación en el Chico.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 33. Residuales de la Ganancia de Crecimiento de EL Chico Hidalgo. ....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 34. Ganancias de Crecimiento de los Parques Nacionales Izta Popo y El Chico.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 35. Comparación múltiple de las ganancias de crecimiento en El Chico (1) e Izta Popo (2). ....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 36. Relación entre los promedios de Temperaturas Máximos °C en ambas zonas de estudio.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 37. Comparación múltiple de las temperaturas máximas en El Chico (1) e Izta Popo (2).....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 38. Relación entre los promedios de Precipitación (mm) en ambas zonas de estudio.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 39. Comparación múltiple de las precipitaciones en El Chico (1) e Izta Popo (2).....</i>	<i>86</i>



## Cuadros

<i>Cuadro 1 Cuadro resumen sobre el aporte en el ámbito de la Dendrocronología en diferentes especies y el autor.</i>	10
<i>Cuadro 2. Media de los promedios de crecimiento entre los años 1901 a 2012 en Iztapopo</i>	57
<i>Cuadro 3 Media de los promedios de crecimiento entre los años 1847 a 2012 en El Chico</i>	57
<i>Cuadro 4. Distribución de edades por año y estadio biológico en Abies religiosa en las zonas muestreadas (Manzanilla, 1974)</i>	61
<i>Cuadro 5. Ajuste del Polinomio de las Ganancias de Crecimiento Izta Popo</i>	65
<i>Cuadro 6. Periodos de 1962 a 2010 de precipitación y temperatura, mostrando el tipo de relación que presentan</i>	66
<i>Cuadro 7. Periodos de 1962 a 2010 de temperatura máx. y ganancia de crecimiento mostrando el tipo de relación que presentan</i>	69
<i>Cuadro 8 Ajuste del Polinomio de las Ganancias de Crecimiento El Chico</i>	75
<i>Cuadro 9. Periodos de 1981 a 2010 de precipitación y temperatura, mostrando el tipo de relación que presentan</i>	76
<i>Cuadro 10. Periodos de 1962 a 2010 de temperatura máx. y ganancia de crecimiento mostrando el tipo de relación que presentan</i>	78
<i>Cuadro 11. Análisis de correlación de Múltiples Variables Izta Popo</i>	87
<i>Cuadro 12. Análisis de correlación de Múltiples Variables El Chico</i>	88



## Resumen

El tópico del efecto de la temperatura máxima promedio y precipitación promedio en el desarrollo de los anillos de crecimiento tiene varios enfoques, el que atañe al presente estudio es el de medir su efecto considerado un bosque ubicado en Parque Nacional Izta Popo (PNIP), con una alteración en su régimen de temperatura y precipitación, versus un bosque testigo, ubicado en el Parque Nacional El Chico (PNEC) en donde presumiblemente no ocurre. En el primero los contaminantes provenientes de la Ciudad de México y las emanaciones volcánicas del volcán Popocatepetl podrían ser factor de alteración de los parámetros del clima y se estaría registrando en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa*, a través de las Ganancias de Crecimiento (GC).

En cada bosque se eligió trece árboles sanos y de ellos se extrajo un par de núcleos de para cada árbol de acuerdo a lo descrito por Cook (1990) y Grisso (2003), se registró la edad y la anchura total del anillo. Se determinó la ubicación de la estación meteorológica más cercana al PNIP y al PNEC, para obtener los registros promedió de la T máxima y el promedio de la PP para los periodos 1961 al 2010 y 1980 a 2010, respectivamente, a fin de correlacionarlos con el ancho del anillo. El ancho del anillo se determinó con el programa WinDendro® y registros se representaron gráficamente y se analizaron estadísticamente con el programa Origin8 y Statgraphics, respectivamente.

De analizar las variables del clima se determinó tres ciclos en un periodo de 49 años para PNIP, observando una mayor amplitud del intervalo comprendido por el mínimo y máximo registro, a diferencia que el PNEC donde se determinó dos ciclos en un periodo de 30 años cuya diferencia en la temperatura entre los ciclos fue de casi un grado en ambos bosques. Respecto a la precipitación la amplitud del intervalo resultó mayor en el PNIP (60 mm a 1600 mm) y no así para el PNEC (700 mm a 1700 mm).

De comparar los promedios de crecimiento de cada una virutas de cada zona se determinó que existen estrechos puntos de similitud en las tasas globales de crecimiento, las cuales oscilan de 5.75mm a 1.35mm para el PNIP y de 4.17mm a 1.17mm para el PNEC. La GC en PNEC mostró un rango de 0.2566mm a 0.8179mm mostrando 14 años en donde la GC rebasa a la media y 17 años en donde no la rebasa, con respecto a la PP y T obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) el 55.10% mantienen una relación inversa y 44.84% una relación directa, siendo la T la variable dominante, la relación de la T y la GC arrojó 30 años con una relación inversa y 18 una relación directa, con respecto a la relación de la PP y la GC existen 29 años con una relación directa y 20 de una relación es inversa.

En tanto para PNIP mantuvo un rango de GC de 0.30mm a 0.69mm, presentando 23 años favorables y 27 en donde la GC no rebasó el valor medio, con respecto a la PP y T obtenidas del SMN el 46.66% mantienen una relación inversa y un 53.33% una relación directa, la relación de la T y la GC arrojó 13 años con una relación directa y 17 una relación inversa, con respecto a la relación de la PP y la GC



existen 17 años con una relación directa y 13 años de una relación inversa. Finalmente la correlación indica que las variables PP, T y GC no presentaron una correlación significativa, mostrando un valor de  $p$  mayor que 0.05, el análisis de múltiples variables arrojó que las GC en ambas zonas mantienen una relación estadísticamente significativa, ocurriendo lo mismo con la GC, en tanto para la PP no hay relación significativa

**Palabras clave:** Contaminantes, Anillos de Crecimiento, Ganancia de Crecimiento, Núcleos de Oyamel, valor de  $p$ , Análisis de múltiples variables.



## SUMMARY

The topic of the effect of the average high temperature and average precipitation in the development of growth rings has several approaches, regards the present study is to measure the effect considered a forest located in Izta Popo National Park (PNIP) with a change in the regime of temperature and precipitation, versus a control forest, located in the El Chico National Park (PNEC) where presumably does not occur. In the first pollutants from Mexico City and volcanic emanations of Popocatepetl factor could be altered climate parameters and would be recorded in the growth rings of *Abies religiosa* through Income Growth (GC).

In each forest thirteen healthy trees and they chose a pair of cores according to each tree as described by Cook (1990) and Grisso (2003), the age and the total width of the ring was removed was recorded. The location of the nearest PNIP and PNEC weather station was determined to get the records averaged maximum T and the average PP for the periods 1961 to 2010 and 1980-2010, respectively, in order to correlate them with the ring width. The width of the ring was determined with the program and records WinDendro® were plotted and analyzed with the Statgraphics Origin8 and respectively program.

Analyzing the three cycles climate variables are determined within 49 to PNIP , having a greater range from the range of the minimum and maximum registration , unlike the two cycles PNEC where determined within 30 years whose difference in temperature between cycles was nearly a degree in both forests. Regarding precipitation greater amplitude range resulted in PNIP (60 mm to 1600 mm ) and not for the PNEC (700 mm to 1700 mm).

In comparing the average growth of each chip of each zone was determined that there are close points of similarity in global growth rates, which range from 5.75mm to 1.35mm to 4.17mm to PNIP and 1.17mm for the PNEC . The PNEC GC showed a range from 0.2566mm to 0.8179mm showing 14 years in which the GC exceeds the average and 17 where not exceeded, with respect to the PP and T obtained from the National Weather Service (NWS ) on 55.10 % are inversely related and directly related 44.84 % , being the dominant variable T , the relationship between T and throw GC 30 with an inverse relationship and direct link 18 with respect to the relation of PP and GC there are 29 years and 20 direct relationship of a relationship is inverse .

In both maintained PNIP GC range of 0.30mm to 0.69 mm, presenting favorable 23 years and 27 wherein the GC did not exceed the average value , with respect to T PP and MTF obtained from the 46.66 % and maintain an inverse relationship 53.33 % direct relationship , the relationship between T and GC throw 13 with a direct and an inverse relationship 17 with respect to the relationship between PP and GC there 17 years with a direct link to 13 years an inverse relationship. Finally, the correlation indicates that the PP, T and G variables were not significantly correlated , showing a value of p greater than 0.05 , analysis of multiple variables that GC courage in both areas maintain a significant relationship , and the same with the GC , while for PP there no significant relationship

**Keywords:** Contaminants, Rings Growth, Profit Growth , Core Oyamel , p-value, multi-variable analysis .



## I. Introducción

Uno de los temas más debatidos en los estudios del clima durante los últimos decenios es el grave daño que se le ha estado causando a la atmósfera por la sociedad moderna y los procesos industriales, derivando de ello la lluvia ácida, la reducción de la capa de ozono, el efecto invernadero y el cambio climático. Este último, ha cambiado por diferentes causas, la deforestación, la composición química de la atmósfera y de ahí, los conceptos de estabilidad e inestabilidad climática.

Fue en la década de los años setenta cuando, ante la serie de acontecimientos observados en varias partes del planeta (sequías prolongadas e inviernos recurrentes), empezaron a ponerse en duda las ideas hasta entonces vigentes de la normalidad de los periodos climáticos. Aún hoy es frecuente en ciertos ámbitos la consideración de que el clima es algo estable y todo lo que se aparte de esa normalidad es síntoma inequívoco de un cambio irreversible en su tendencia. (Creus *et al.*, 1996)

Innumerables pruebas evidencian que el clima ha ido cambiando en el pasado a escala de centurias y milenios, lo cual permite afirmar que en la actualidad está en proceso de cambio y que seguirá cambiando en el futuro. Sin embargo, mientras el cambio asociado a la evolución natural es un proceso muy lento, en la actualidad concurren una serie de circunstancias relacionadas con la actividad humana que pueden alterar su evolución normal, acelerando el proceso de cambio y con la posibilidad de generar gradientes clima-tiempo muy fuertes, de gran incidencia sobre la vida con una tendencia hacia el futuro que podría ser irreversible.

La prevención de eventos climáticos sería importante para su proyección, de manera que los estudios de la evolución del clima pasado, en momentos de mínima influencia humana, pueden ser claves para determinar cuál puede ser su patrón de evolución natural y su posible ciclo. Para eventos del clima se pueden utilizar diferentes fuentes de información con diferente





escala temporal, los anillos de crecimiento de árboles longevos proporcionan hasta 6 mil años de antigüedad, a diferencia de los datos referidos de instrumentos que apenas cubren los últimos 150 años. Una de las técnicas utilizadas para conocer el clima de las últimas centurias es la dendroclimatología, referida a partir del crecimiento anual de los árboles de los bosques que puede ser usada como registro de cambios ambientales (Creus *et al.*, 1996).

La amplitud de los anillos de crecimiento (ancho y densidad) y los elementos traqueales (longitud, diámetro y grosor de la pared) revelan detalles de la historia de los cambios ambientales y del clima (Jagels *et al.*, 1994; Pumijumnong y Park, 1999), como por ejemplo el ataque de enfermedades y plagas, el déficit hídrico prolongado y los daños causados por fuego (Shortle *et al.*, 1995; Weber, 1997).

Las fases de crecimiento y relativa inactividad están estrechamente relacionadas con los cambios ambientales; las bajas temperaturas usualmente inducen periodos de inactividad en los meristemas, mientras las condiciones húmedas y cálidas provocan su reactivación (Dave y Rao, 1982; Borchert, 1999).

Por ello, los estudios dendrocronológicos, basados en la variación radial de la madera de la médula al cambium vascular y los parámetros ambientales, son importantes para entender el comportamiento de las especies leñosas que conforman una comunidad forestal (Vaganov, 1996; Wilpert, 1991; Wimmer *et al.*, 1996). Ceballos (2002) reporta que si la cantidad de precipitación y temperaturas, son adecuadas el árbol crece más y el anillo correspondiente será más ancho. A la inversa, en los años en que el clima es particularmente severo, el árbol crece menos, produciendo anillos muy estrechos. Si se mide el ancho de los anillos se tendrá una serie que representará de alguna manera el comportamiento del clima en la zona.

Por lo tanto resulta de gran interés recurrir a indicadores o archivos ambientales que puedan proveer registros climáticos de alta resolución, lo suficientemente largos, como para poder caracterizar en forma apropiada la variabilidad climática natural de una región. Sin



embargo, condiciones severas de sequías o años de intensa radiación solar pueden causar la presencia de falsos anillos de crecimiento en algunas especies o en algunos casos, anillos difusos. La tendencia y estacionalidad de anillos falsos inducidos por la sequía varía a lo largo de los sitios y de las especies (Gourlay, 1995).

Estas reconstrucciones de las variaciones climáticas pasadas pueden ser obtenidas para una localidad en particular, o para toda una región, si se dispone de una red de cronologías de anillos de árboles que cubren un área extensa y datos de las estaciones meteorológicas más cercanas para hacer retrospectivas del clima del pasado, el presente y ver como se comportará en el futuro (Ceballos, 2002). A pesar del alto potencial que poseen ciertas especies arbóreas, como *Abies religiosa* para el desarrollo de esta disciplina científica, a escala meso-regional ésta, se encuentra insuficientemente desarrollada en el país (Calva, 2002). Estos estudios se han realizado para varias partes del mundo pero en los bosques Izta Popo y El Chico Hidalgo, existe poca información dendrocronológica sobre los cambios que sufren los bosques a consecuencia de eventos climáticos.



## 1.1. Justificación

El presente trabajo se base en los cambios en el régimen climático publicado por el Dr. Jauregui del Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM) para el D. F., La relación entre las variables climáticas con desarrollo de la comunidades de la flora y fauna en las montañas que la rodean se desarrollan los bosques de pino-oyamel son de vital importancia investigar. Los ambientales y ecosistémicos para la sociedad, el suministro de agua a las localidades cercanas, su existencia es clave para la captación de CO<sub>2</sub>, son regiones indispensables e insustituibles que satisfacen directamente necesidades de las poblaciones aledañas. con las consecuencias en los bosques circundantes. En las montañas que la rodean se desarrollan los bosques de pino-oyamel que propician los bienes y servicios ecosistémicos para la sociedad, el suministro de agua a las localidades cercanas, su existencia es clave también para la captación de CO<sub>2</sub>, son considerados como regiones generadores de bienes y servicios ambientales indispensables e insustituibles que satisfacen directamente necesidades de las poblaciones aledañas.

Por la ubicación donde se encuentran los Parques Nacionales Izta Popo y Mineral El Chico los hacen indispensables para los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) del país. Dada la presión a la que está sometida la zona del bosque de *Abies religiosa* siendo templada subhúmeda, es urgente conocer estos sistemas desde un punto de vista ecológico para diversos estudios científicos recientemente enfocados al biomonitoreo, cambio climático global, evaluación del decline forestal , variaciones del carbono, entre otros no menos importantes.

En lo que respecta a México, no hay estudios de esta índole, no obstante la dendrocronología ha logrado un desarrollo sorprendente en las últimas décadas en otros países. Principalmente han sido utilizados para la interpretación del clima, al ser afectados por cambios ambientales tales como la Precipitación y la Temperatura, o cambios drásticos como sequías y heladas.



También para fines de manejo de los recursos forestales cada fase de desarrollo del árbol es importante, por ejemplo, los anillos de crecimiento son importantes para medir la dinámica de productividad (Klepac, 1983). Es por ello que se pretende con este trabajo saber que tanto influye las variables climáticas temperatura y precipitación en la formación de los anillos de crecimiento de *Abies religiosa*, usando como herramientas a la dendrocronología, dendroclimatología y dendroecología y así aportar un conocimiento básico para el desarrollo de planes de manejo y conservación de estos parques nacionales.



## 1.2 Problemática

El Parque Nacional Izta Popo, actúa como barrera natural que dificulta la circulación de los vientos y la dispersión de los contaminantes provenientes de la Ciudad de México, en especial en la temporada seca cuya periodicidad oscila entre los 30 años, con la alteración que producen las emisiones de aerosoles, gases y partículas (radiación, temperatura y precipitación) del volcán Popocatepetl. Estos cambios se reflejan en los anillos de crecimiento del oyamel (*Abies religiosa*), mientras que el Parque Nacional El Chico no ocurren dichos cambios, se tomará como referencia para contrastar las ganancias en crecimiento pues es un bosque mayormente conservado.

Así tenemos que cambios en el régimen climático producido por la contaminación y emisión del volcán, se expresarán en los anillos de crecimiento de los árboles, en especial en aquellas especies más sensibles como lo es *Abies religiosa* y la pregunta es:

**¿Cómo los árboles están respondiendo ante la variación en la frecuencia e intensidad de las lluvias y la variabilidad en las temperaturas respecto a la formación de los anillos anuales?**

Los anillos de crecimiento del Oyamel constituyen una fuente de información para diversos estudios recientemente enfocados al biomonitoreo, cambio climático global, evaluación del decline forestal, variación en el ciclo del carbono, entre otros. Sin embargo la escasa información que existe en México sobre el tema hace que estos estudios sean importantes para aportar el conocimiento básico para el desarrollo de planes de manejo y conservación de los bosques del país.



## II. Objetivos

- ✓ Comparar el crecimiento de *Abies religiosa* en el Parque Nacional Izta popo y el Parque Nacional Mineral El Chico y determinar la relación que tiene la temperatura máxima anual y la precipitación media anual en la formación de sus anillos de crecimiento.

### 2.1 Objetivos particulares

- ✓ Realizar la cronología de crecimiento de *Abies religiosa* de las zonas de estudio.
- ✓ Determinar la ganancia de crecimiento de cada uno de los núcleos de *Abies religiosa* en las zonas de estudio.
- ✓ Graficar los registros estandarizados de Temperatura máxima anual y la Precipitación media anual del SMN (Servicio Meteorológico Nacional) de por lo menos 30 años atrás en las zonas de estudio.
- ✓ Interpretar la relación que tiene el crecimiento de los anillos con la precipitación media anual y la temperatura máxima anual de 1961 al 2010 en el Parque Nacional Izta Popo y de 1980 a 2010 en Parque Nacional Mineral El Chico.



### III. Hipótesis

Por su cercanía a la Ciudad de México el bosque del Parque Nacional Izta Popo expresa variación en la Precipitación media anual y en la Temperatura máxima anual, por lo que ésta alteración se registrará en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa*, no así para el bosque Parque Nacional Mineral El Chico, que se encuentra más alejado de la Ciudad de México.



## IV. Antecedentes

En relación con los estudios e investigaciones realizadas en la dendroclimatología, destaca Douglass, (1901), algunos autores lo nombran el padre de la dendrocronología, el observó que los anillos expuestos en un tronco cortado de *Pino flagstaff* en Arizona EUA, exhibían variaciones en su anchura y se cuestionaba si estos pinos eran influenciados por la humedad disponible o por la competencia que existía dentro del rodal,

¿La humedad tendría que ver con la anchura del anillo?

Concluyendo que, anillos delgados correspondían a años secos y podría usar el grosor como una prueba a largo alcance del tiempo y clima; sin embargo en 1911 fue cuando determinó el alcance de sus observaciones y estableció un fechado cruzado y que los modelos del ancho de los anillos en sí mismos representan un registro de las condiciones ambientales sobre una región.

Con lo que respecta a México se ha constituido en uno de los principales países de la región en la investigación sobre dendrocronología, con el registro de cronologías de anillos de crecimiento en 1940-1950 (Schulman 1944, 1956, Scott 1966) en base a árboles de *Pinus sp.*, *Pseudotsuga mensiesii* y *Abies duranguensis*. En la década de los 70, el “Proyecto Mexicano de Anillos de Crecimiento” originó 20 cronologías de árboles, además de otras cronologías cortas de madera recogidas de las antiguas iglesias de las misiones jesuitas (Villanueva-Díaz *et al.* 2004).

En dendroarqueología, Scott, (1966) construyó una cronología flotante de 485 años con madera de coníferas obtenidas de ruinas prehistóricas de Casas Grandes, en Chihuahua. La dendroclimatología posibilitó la reconstrucción de la precipitación e índice de intensidad de sequía de Palmer de árboles localizados en el norte de Sonora (Villanueva-Díaz & McPherson 1996).



Las cronologías de anillos de crecimiento de árboles de coníferas de las regiones norte y noroeste fueron correlacionadas con las lluvias de invierno e índices de El Niño/oscilación del sur, aplicadas en la reconstrucción de esos índices (Villanueva-Díaz *et al.* 2004, 2008) y en la datación de árboles (Villanueva-Díaz *et al.* 2006).

La anatomía de los anillos de crecimiento de árboles en la península de Yucatán fue descrita por Roig *et al.* (2005) y una revisión sobre las investigaciones en dendrocronología fueron realizadas por Stahle *et al.* (2000), enfatizando en estudios paleoclimáticos, ecológicos, análisis de los patrones de circulación atmosférica global, entre otros.

De forma sintética se muestra la relevancia de los estudios realizados en materia de dendroclimatología en el cuadro 1:

**Cuadro 1 Cuadro resumen sobre el aporte en el ámbito de la Dendrocronología en diferentes especies y el autor.**

AUTOR (ES)	AÑO	APORTE
Teofrasto	322 a. C.	En su libro Historia de las Plantas fue el primero en mencionar la existencia de los anillos de los árboles y el hecho de que se formen anualmente.
Leonardo da Vinci	Siglo XV	Reconoció la relación entre los anillos y las precipitaciones atmosféricas en el periodo vegetativo "Los anillos en los troncos de árboles cortados muestran los años y, según su espesor, años más o menos secos..."
Duhamell. And Buffon	1737	Observaron en una población de coníferas recién cortadas que coincidía un anillo muy estrecho con una helada severa presentada 29 años atrás.
Douglass, A. E.	1901 1912	Determinó que los anillos expuestos en un tronco cortado de un pino en Flangstaff (EEUU) exhibían variaciones en el ancho. Estableció entonces un modelo de anillos delgados y anchos y así creó el cofechado, método que se podía aplicar en áreas donde el crecimiento de un anillo es frecuentemente limitado por el clima.
Schulman, E.	1954	Encuentra el árbol vivo más viejo de las Montañas Blancas de California ( <i>Pinus longaeva</i> ) datando los anillos y registrando 4798 años de edad.
Eggler, W. A.	1967	Desarrolla una cronología de anillos de 4 especies de pino, notando supresión de los mismo para años específicos por efecto de la actividad volcánica del Parícutín
Schweingruber, F. H.	1976	Introdujo métodos estadísticos para analizar las marcas climáticas en una secuencia de anillos de crecimiento como base para la reconstrucción climática.
Hosker, R. P. and Lindberg, S. E.	1982	Describió la química y física de los polutantes, así como la depositación de los mismos para distintas comunidades forestales, y se simula mediante la medición de parámetros dasométricos el efecto a largo plazo en ecosistemas.

Schweingruber, F. H.	1983	Establece las bases de la dendroecología moderna, desarrollando la técnica de densitometría de Rayos-X.
Baes III, C. F. and McLaughlin S. B.	1984	Estudio dendrocronológico y dendroquímico New York; determinando la relación entre la disminución del crecimiento radial en pinos, el incremento de la concentración de Fe en el cambium y floema, en el periodo en que las emisiones de los combustibles fósiles aumentaron en 200%.
Bernal, S.S.	2000	Sugiere que la actividad del cambium vascular de <i>Abies religiosa</i> está relacionada con las temperaturas máximas de marzo en la sierra del Campanario Michoacán.
Díaz, Sara.	2000	Mediante la reconstrucción histórica de la precipitación y el comportamiento de crecimiento de los anillos en <i>Pinus lagunae</i> , se observa la afectación del efecto del niño en Baja California Sur
Biondi Franco	2002	Cronología de <i>Pinus hartwegii</i> de 400 años de longitud del Nevado de Colima, indicando que la precipitación influye más en el crecimiento de la especie.
Therrel et al.	2002	Cronologías de árboles de las regiones centro y norte de México, definiendo el inicio del periodo de lluvias en esta región y su relación con el "monzón mexicano".

Díaz y Cleaveland	2002	Reconstrucciones de la precipitación invierno - primavera de 346 años para Chihuahua y 600 para Durango citan en especial sequías severas en los periodos de 1540-1579, 1751-1765, 1798-1810, 1850-1860 y 1950-1965.
Razo, G.	2004	Registró los elementos pesados presentes en ejemplares de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i> por la técnica de PIXE en el Desierto de los Leones y el Chico, Hidalgo.
Calva, G., Miranda J. C., Solis, I. Huerta-Arcos	2004	Análisis de metales traza en las regiones del anillo de crecimiento en <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Pinus montezumae</i> , <i>Pinus patula</i> en la Cuenca de México.
Hernández, R.	2007	Comparó la concentración de elementos detectados por PIXE en anillos de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i> a diferentes gradientes altitudinales para conocer la influencia del Efecto de Ladera en el Parque Nacional El Chico.
Martínez, P. I	2008	Variaciones climáticas en los anillos de crecimiento de <i>Pinus patula</i> en el Parque Nacional Desierto de los Leones.
Avila, C. G.	2008	Factores ambientales que influyen en la formación de anillos con anomalías en <i>Abies religiosa</i> de los Parques Nacionales Izta-Popo y Desierto de los Leones.
Arreola, R., González, M., Navar. J	2010	Dendrocronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México
Villanueva, J., Cerano, J., Vázquez, Lorenzo.	2012	Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancitaro, Michoacán con base en los anillos de crecimiento de <i>Abies religiosa</i>

Como se observa en el cuadro 1, los estudios son insuficientes para determinar las cronologías climáticas en los bosques de la Cuenca del Valle de México y la única cronología maestra corresponde para el ahuehuete del Bosque de Chapultepec realizada por Villanueva.



## V. Marco teórico

### 1. Hábitat de la especie

Los bosques de *A. religiosa*, sobresalen entre el conjunto de las comunidades vegetales dominadas por coníferas en la zona central de la República Mexicana (Eje Volcánico Transversal, Estado de México, Hidalgo, Michoacán, Puebla y Tlaxcala) y Sierra madre del Sur, este bosque prácticamente no interrumpe sus actividades de fotosíntesis, absorción y transpiración, si acaso sufre una disminución durante los periodos más fríos y más secos del año, siempre o casi siempre hay verdor en la comunidad y el periodo de floración de muchas especies corresponde precisamente a los meses de diciembre, enero y febrero (Rzedowski, 2006).

La distribución geográfica de *A. religiosa* se presenta en la mayor parte de los casos en forma de manchones aislados, muchas veces restringidos a un cerro, a una ladera o a una cañada.

Las áreas continuas de mayor extensión se presentan en las serranías que circundan al Valle de México y le siguen en importancia las correspondientes a otras montañas sobresalientes del Eje Volcánico Transversal, como por ejemplo, el Pico de Orizaba, el Cofre de Perote, el Nevado de Toluca, el Tancitaro, el Nevado de Colima y algunas otras más (Rzedowski, 2006).

En cuanto a la extensión total que ocupa en México esta comunidad vegetal, se extiende por gran parte de la superficie de la República, en estados como Distrito Federal, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, Guerrero y Tlaxcala siendo un árbol nativo de México (CONAFOR Y CONABIO). En México este tipo de vegetación está confinada a sitios de alta montaña, por lo común entre 2400 y 3600 m de altitud, pues entre estas cotas se localiza



cuando menos 95% de la superficie que ocupa. Los bosques de Oyamel que se observan en México están confinados a laderas de cerros a menudo protegidos de acción de fuertes vientos y de insolación intensa (Rzedowski, 2006). Se encuentra íntimamente asociada la especie de abeto con la mariposa monarca, y algunas hipótesis sugieren que es por un compuesto químico (trementina) (Fig. 1).

En general en cuanto a sus exigencias climáticas, los bosques de Abies constituyen una unidad relativamente bien definida, pues requieren, para su desarrollo, de condiciones de humedad más bien elevadas. La precipitación media anual es por lo común superior a 1000mm, distribuida en 100 o más días con lluvia apreciable. Ordinariamente el número de meses secos no es mayor de cuatro. Las temperaturas medias anuales varían de 7 a 15°C, si se toman en cuenta los límites altitudinales habituales del bosque, pero en algunos sitios pueden ser aparentemente del orden de 20°C.

Aunque las mínimas extremas rara vez son inferiores a -12°C, el promedio anual de días con helada es generalmente superior a 60 y éstas pueden presentarse de septiembre a marzo a niveles inferiores y en cualquier mes del año más arriba de 3000m de altitud. La oscilación diurna de la temperatura tiene un promedio anual de 11 a 16°C (Flores et al., 1971). La altura de la comunidad varia por lo general entre 20 y 40m, aunque puede alcanzar hasta 50m.

Las copas de los árboles presentan de ordinario un contorno triangular y se ramifican desde niveles relativamente bajos (Fig. 2a y 2b). El bosque de Abies en condiciones naturales suele ser denso, lo que crea condiciones de penumbra a niveles inferiores y el desarrollo de los estratos arbustivos y herbáceos puede ser bastante limitado.

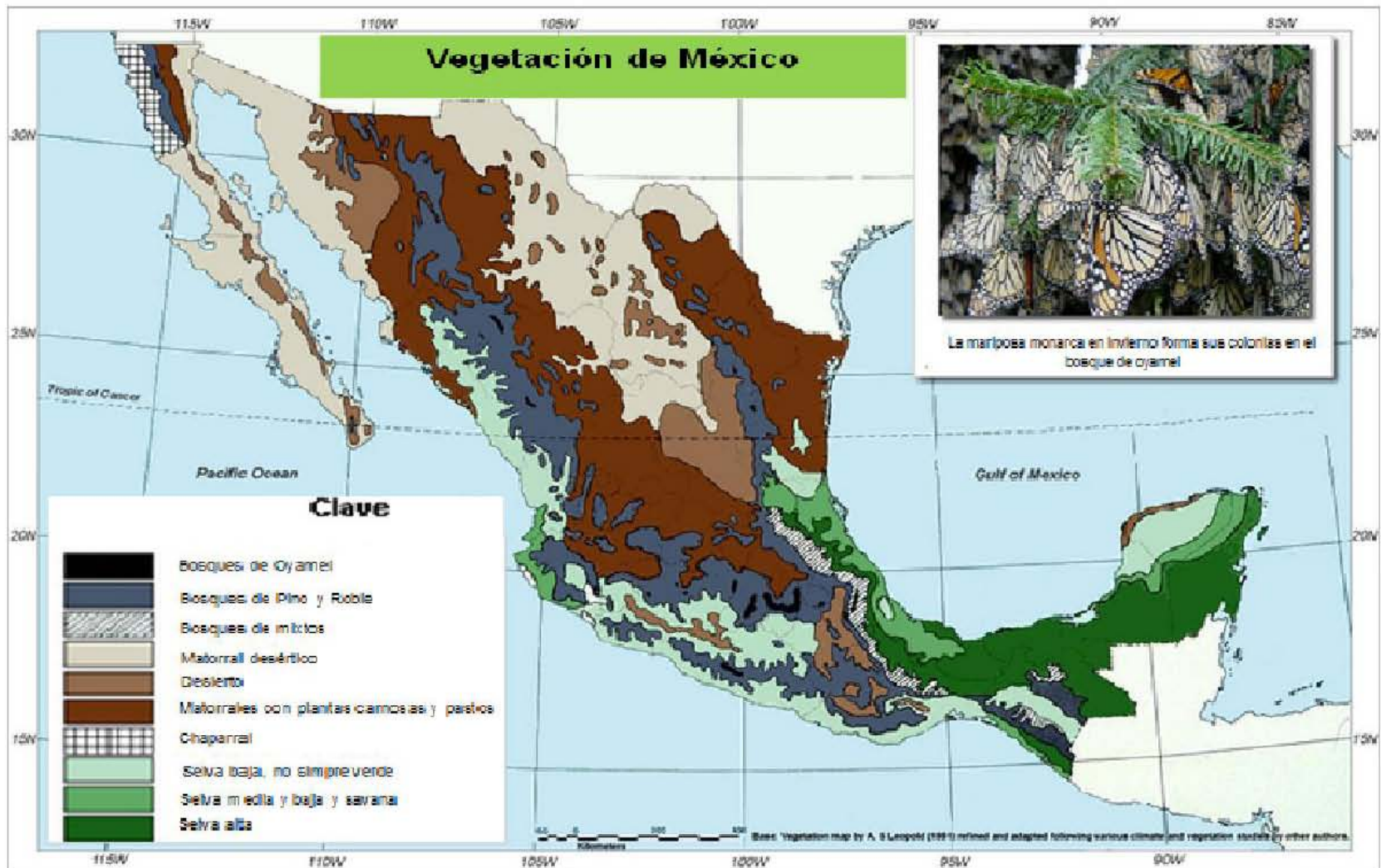


Figura 1. Ubicación del bosque de oyamel y la relación con comunidades de mariposa Monarca.



Figura 2a de *Abies religiosa* tomada del Parque Nacional Izta Popo

Figura 2b. Altura de comunidad de *Abies religiosa*, mostrando su porcentaje de retención de copa



En el estrato arbóreo inferior, formado por dicotiledóneas, como especies de *Quercus*, *Alnus*, *Arbustus*, *Salix* y otros. El arbustivo y el herbáceo contienen por lo general numerosos representantes de la familia *Compositae*. El estrato rasante está dominado por musgos y presenta con frecuencia muy altos valores de cobertura (60 a 95%, según Madrigal, 1967: 51); también se observan numerosos hongos basidiomicetos durante la época de lluvias.

En el centro de México, *Abies* es la especie frecuente los rodales son relativamente extensos y muchas veces puros, aunque localmente puede haber acompañamiento de *Pinus*, *Cupressus* o *Pseudotsuga* y a veces también de *Quercus*, *Alnus* y otros árboles. Desde el punto de vista

económico, los bosques de *Abies* son de la mayor importancia, pues la madera de oyamel es la materia prima preferida por la industria de la celulosa y del papel (Rzedowski, 2006). Los escenarios de su distribución según el efecto de cambio climático referido para el año 2050 de donde se infiere la reducción de superficie de distribución en gran medida (Fig. 3).

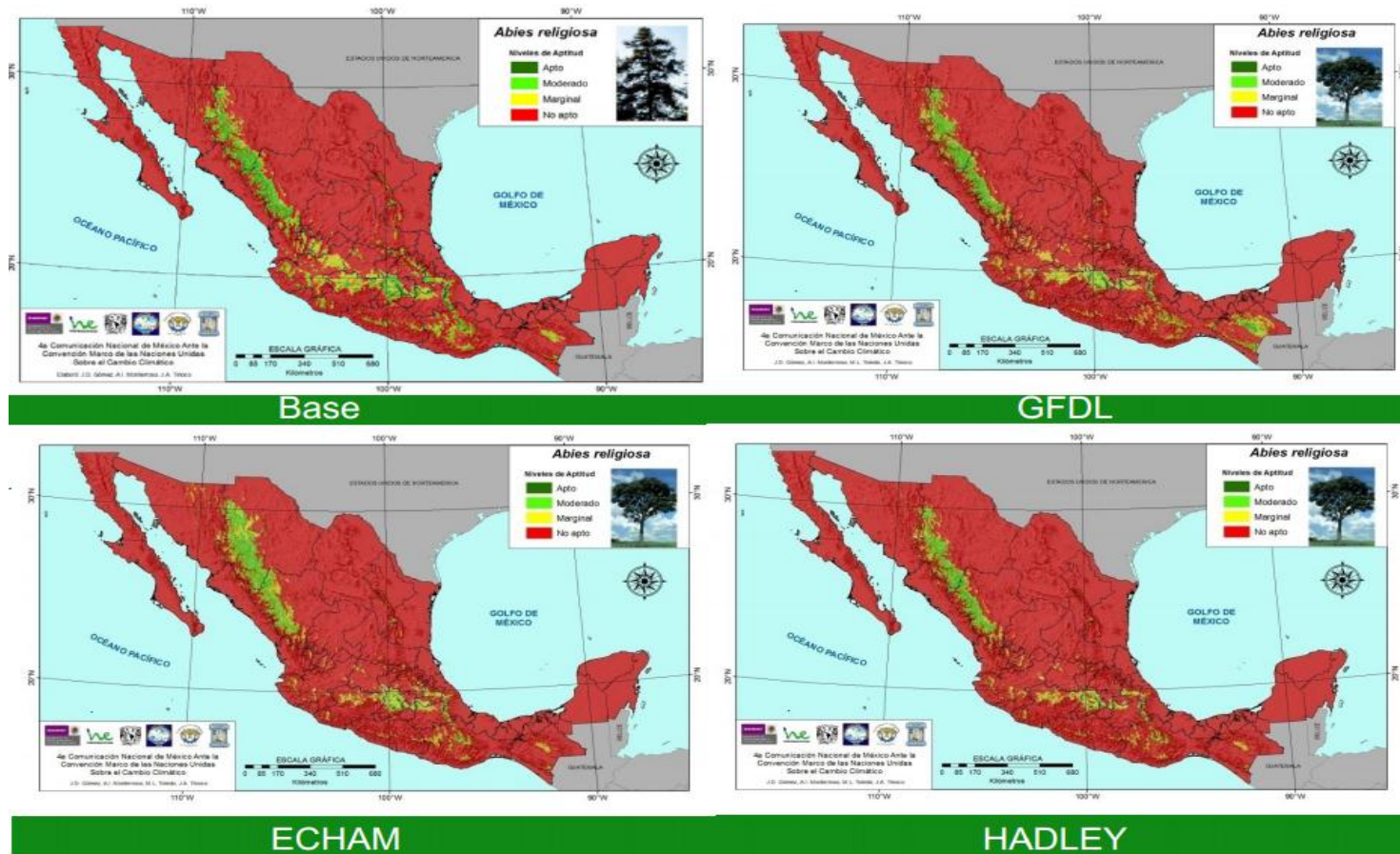


Figura 3. Adecuación bajo escenarios de cambio climático para *Abies religiosa* al 2050 (a: base; b: GFDL-CM-2.0; c: MPO-ECHAM-5; d: HADLEY)



## 2. Factores Climáticos

El hábitat o sitio como se lo denomina más comúnmente en el caso de los árboles, es la suma total de las condiciones circundantes del medio ambiente que se encuentran disponibles para el crecimiento de la planta. Estas son primariamente los factores atmosféricos y del suelo del medio ambiente físico, pero también se encuentran las importantes influencias bióticas de los animales y los vegetales incluyendo los mismos árboles. Entre los factores atmosféricos se observa que la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad y el contenido de los diferentes gases que se desprenden a la atmósfera tienen repercusiones positivas o negativas para el crecimiento y la vida del árbol.

El término clima incluye un componente estacional que representa variaciones a lo largo del ciclo anual, el tiempo se refiere a las variaciones de corto plazo en el sistema climático, incluidos todos los fenómenos meteorológicos observables que pueden cambiar bruscamente en pocos minutos y variar de día a día. Cada fenómeno incluye la precipitación, calor, luz, viento, y relaciona factores que afectan el día con día las condiciones de la biósfera. Un organismo en particular experimenta sólo la parte de las condiciones meteorológicas que se produce dentro de su sitio en particular. Un árbol por ejemplo, es afectado por las condiciones de humedad del suelo alrededor de las raíces, la energía de radiación sobre las hojas, y la temperatura y movimiento de gases que rodea sus hojas, tallos y raíces.

Los agregados de elementos meteorológicos ocurren dentro de un sitio localizado y puede ser definido como un microclima, la palabra microclima a menudo incluye mediciones relativamente a corto plazo en una localidad específica que tan fácilmente podría considerarse la climatología o micro meteorología del sitio local.

Sin duda alguna cada factor ambiental puede entrar dentro de numerosas relaciones interactuantes en diferentes partes de la planta, en diferentes tiempos a lo largo del año, y en





diferente tiempo a lo largo de la vida del árbol. Para propósitos de análisis de crecimiento puede ser usado para considerar un factor medioambiental como perjudicial o benéfico, sólo si su efecto neto es para disminuir o aumentar el crecimiento. Por ejemplo, un incremento en la radiación solar puede incrementar la intensidad de luz y aumentará la temperatura de la hoja.

Con más luz se produce un aumento en la fotosíntesis y la toma de alimentos, pero con el incremento en la temperatura también hay aumento de la respiración y el aumento del consumo de alimentos. Si la reducción de la humedad en el suelo incide a la absorción de agua, el crecimiento puede ser severamente reducido. El efecto neto de aumento de radiación solar, entonces, sólo es favorable si los efectos benéficos incrementan la fotosíntesis y no se compensan por los efectos perjudiciales de aumento de la respiración y la reducción en el agua disponible (Fritz, 1976).

## 2.1 Precipitación

La cantidad y distribución de la precipitación pluvial se encuentran relacionadas con las condiciones meteorológicas, la estación del año, la topografía y muchos otros factores. Puede incluso estar relacionada, en algunas circunstancias locales, con la distribución y estructura de los bosques. La distribución de las precipitaciones sobre la superficie terrestre, sin embargo, depende primariamente de las interrelaciones entre las corrientes de aire y las grandes masas de agua. La mayoría de las precipitaciones se produce cuando las corrientes de aire que pasan sobre masas de agua entran en contacto con áreas de tierras más frías o también son causadas por el ascenso hacia las tierras más elevadas, enfriándose en el proceso.

La precipitación no es un factor que afecte directamente la distribución y el crecimiento de los árboles, pero es importante debido a su efecto indirecto en el abastecimiento de la humedad del suelo. Para un área que sustenta el crecimiento forestal, debe ser abastecida una



cantidad suficiente de agua como para satisfacer los requerimientos mínimos de los árboles, tanto para la transportación como para la fotosíntesis (Stephen *et al.*, 1982).

Para los bosques de niveles moderados de crecimiento, con las coronas de los árboles tocándose, el abastecimiento mínimo se aproxima a 400 mm por año. Los grados de crecimiento en altura requieren por lo menos de 500 a 700 mm por año. La precipitación debe ser suficientemente mayor que estos valores para permitir la intercepción, el escurrimiento superficial, la evaporación directa y el drenaje superficial. (Stephen *et al.*, 1984). Slatyer (1967) define dos principales modelos de acción del déficit de agua sobre la fotosíntesis:

a) El efecto indirecto del déficit de agua sobre el cierre de los estomas y la reducción de la difusión de dióxido de carbono en la hoja.

✓ Ésta pérdida de agua se realiza mayoritariamente por los estomas, que son unas estructuras celulares que forman poros en la superficie de las hojas, abriéndose y cerrándose para regular la entrada de CO<sub>2</sub> en las hojas y, con ello, la pérdida de agua por las mismas. Este es el punto clave de la fisiología y, en consecuencia, de la ecología de los vegetales.

b) El efecto directo del déficit de agua en las reacciones bioquímicas que participan en la fotosíntesis.

✓ Según Cowan (1978), la fotosíntesis es el proceso principal y definitorio de las plantas verdes, siendo todos los demás absolutamente secundarios. Asumiendo este principio las plantas continuamente deben ceder agua a la atmósfera debido a la demanda evaporativa, pero también para poder realizar la fotosíntesis, por este motivo los estomas actúan como válvulas que determinan la resistencia a la circulación de agua entre el suelo y el aire. Las plantas ajustan el tamaño de las aperturas estomáticas para regular la pérdida de agua de las hojas. Debido a que la conductancia estomática también determina la tasa de entrada de CO<sub>2</sub> en las hojas, existe un compromiso inevitable entre la ganancia de carbono y el gasto de agua en las hojas.



Slatyer señala que la fotosíntesis depende de cuatro grupos de procesos principales, los cuales pueden ser afectados por el estrés hídrico:

- ✓ Procesos de difusión asociados con el suministro de dióxido de carbono para los sitios fotosintéticos.
- ✓ Procesos fotoquímicos asociados con la utilización de la energía lumínica.
- ✓ Procesos químicos asociados con la reducción química de dióxido de carbono.
- ✓ Procesos de transporte que afectan a la translocación de fotosintatos lejos de los sitios de producción.

En general la tasa neta de fotosíntesis comenzará a disminuir cuando el potencial de agua es de uno a tres bares (1bar=1atm aprox.) por debajo de cero y continúa disminuyendo de una manera más o menos lineal cuando la turgencia de las células disminuye. El intercambio de dióxido de carbono entre la hoja y el aire se invierte de un flujo negativo a un flujo positivo de respiración que excede la fotosíntesis.

La apertura o cierre de estomas es un mecanismo que regula el equilibrio de agua y mantiene un favorable balance de agua con la planta los procesos que envuelven esta apertura son relativamente complejos (Fritz, 1976).

## 2.2 Temperatura

Se puede definir a la temperatura como la medida de la cantidad de energía de un objeto. La radiación solar es la fuente de calor que controla el régimen de la temperatura en las capas cercanas a la tierra. Por su parte, la radiación terrestre y los movimientos del aire afectan a nivel y distribución de la temperatura.

Básicamente, la temperatura media anual en cualquier punto dado de la superficie de la tierra es una función de la insolación que llega a este punto, modificada por la transferencia secundaria del calor proveniente de la radiación terrestre y los movimientos del aire. (Fig.4). El

calentamiento de las capas superficiales de aire durante el día es mayor bajo aquellas condiciones en las cuales se recibe una mayor cantidad de radiación infrarroja, o sea, en latitudes tropicales, en altitudes elevadas donde el aire se encuentra libre del vapor de agua, las nubes y las impurezas atmosféricas.



**Figura 4. Radiación en bosques de Oyamel**

Por otra parte, las temperaturas durante la noche dependen mucho de la cantidad de calor absorbido por los objetos terrestres y la atmósfera durante el día, y del grado en el cual este calor es cedido como radiación térmica terrestre (Stephen *et al.*, 1982).

La fotosíntesis y la respiración ocurre sobre un amplio rango de temperaturas, y la temperatura puede ser afectada por procesos de manera diferente. La temperatura también puede afectar condiciones y procesos como la dormancia, la actividad meristemal, reproducción, y el crecimiento, los cuales interactúan y modifican la respiración y la fotosíntesis neta de la planta.

La temperatura mínima para la fotosíntesis generalmente se encuentra entre  $-2^{\circ}$  y  $-5^{\circ}$  C (Tranquillini, 1964), mientras que la respiración se ha medido a temperaturas tan bajas como



12° C (Freeland, 1944). La persistencia de bajas temperaturas durante largos periodos en el invierno puede llegar a evitar que se produzcan cantidades significativas de respiración y fotosíntesis en las coníferas, sin embargo, durante breves periodos de temperaturas elevadas dentro de un largo y frío periodo, la respiración puede aumentar mucho más rápidamente que la fotosíntesis, por lo que hay una pérdida de los alimentos almacenados (Tranquillini, 1964).

La fotosíntesis puede ocurrir durante el invierno en las ramas de los árboles de hoja caduca (Perry, 1971). Entonces, altas temperaturas pueden ser limitantes para la fotosíntesis y la respiración, la fotosíntesis neta incrementa rápidamente con incremento en temperaturas en el rango de 0 a 15° entre latitudes y de 5°C entre la copa y el suelo. A temperaturas más altas puede haber poco cambio en la fotosíntesis neta por la alteración en la capacidad calorífica.

La respiración, por otro lado, aumenta a un ritmo menos rápido en el rango de temperatura más baja. La respiración, en muchas plantas incrementa de 2 a 2.5 veces por cada aumento de temperatura de 10°C, dentro de un rango de 10° a 30°C (Meyer *et al.*, 1973). La temperatura óptima para la fotosíntesis neta de plantas de clima templado se encuentra entre 15° y 30°C, y en especies de latitudes templadas más frías que pueden estar entre 15° y 20°C. En el límite arbóreo superior, la temperatura óptima puede ser 2° o 3° menor que 15°C (Tranquillini, 1964).

### 2.2.1 Temperaturas dentro del Bosque

Dentro del bosque, la cubierta de luz de la corona y los árboles sin follaje, como en el caso de los árboles de hojas caducas durante la estación de deshoje, tienden a reducir el movimiento del aire mientras que permiten que la radiación solar penetre la canopia. Bajo tales condiciones, la temperatura media del aire puede ser más alta dentro del bosque que fuera del mismo.



Cuando los árboles tienen todas las hojas, los cambios extremos dentro del bosque son generalmente menores que en el exterior y la disminución de la radiación dentro del bosque puede dar como resultado un descenso de las temperaturas medias anuales (Stephen *et al.*, 1982).

Sin embargo, el aumento en la temperatura de los años 1800 a 1950, es cerca de 1.7°C representando un movimiento del clima de cerca de 300m en altura. Tal cambio de temperatura puede ejercer, una influencia real sobre la ocurrencia, la regeneración natural y el crecimiento de las especies de los árboles forestales, especialmente aquellas que se encuentran creciendo cerca de los límites de su hábitat natural. Bajo condiciones boreales lejanas, la temperatura es el factor climático decisivo que afecta el crecimiento radial de los árboles (Mikola, 1962).

### 2.2.2 Temperatura y el crecimiento de la planta

Las plantas regulan su temperatura disipando parte de la energía que absorben, con esto previenen la muerte debida a la temperatura excesiva. Las bajas temperaturas del suelo tienen a disminuir la actividad metabólica y a reducir la permeabilidad de la membrana de tal manera que la absorción de agua y nutrientes es limitada.

La temperatura de la corona también afecta el crecimiento de las raíces. A media que la corona incrementa la temperatura sucede lo mismo con la respiración y la transpiración; los carbohidratos y el agua son utilizados en la corona y están menos disponibles para serlo en las raíces.

Las especies de máxima altitud y alpinas exhiben un óptimo menor de temperatura para la fotosíntesis neta que las especies del mediterráneo y de elevaciones inferiores. El proceso de fotosíntesis de las especies alpinas es más eficiente en temperaturas frías y lo es menos en temperaturas elevadas que el de las especies mediterráneas.



Los estudios con diversas especies arbóreas han mostrado que la luz interactúa con la temperatura del aire para controlar los grados de crecimiento. Por ejemplo, se sabe que las temperaturas óptimas para la fotosíntesis varían con la irradiación solar. Un aumento de la temperatura global incrementa la temperatura puntual, y además debe haber una mayor irradiación cuando aumenta la actividad fotosintética.

Cuando se producen incrementos de la temperatura por encima del óptimo, el grado de fotosíntesis disminuye. Cerca de los 30°C muchas enzimas tienden a interrumpir su actividad y si la alta temperatura persiste pueden pasar a ser no funcionales, actuando como inhibidores del proceso de crecimiento. Además, se presenta un incremento muy marcado de la respiración a temperaturas muy elevadas (llegando a 50°C), y la actividad respiratoria supera a la fotosintética. Finalmente a temperaturas mayores, se produce la muerte de las células. Una cantidad de estudios parecen indicar que el punto letal se presenta alrededor de los 55°C.

En contraste con temperaturas altas, las temperaturas letales por frío ocurren periódicamente a través de toda la zona de crecimiento de los árboles en las regiones templadas y boreales de la tierra. Son afectados de esta manera, en mayor o menor medida, la distribución y el crecimiento de los árboles en esas zonas.

La muerte de los tejidos vegetales, particularmente de las plantas que se encuentran creciendo activamente y los tejidos suculentos, puede ocurrir por una rápida helada y la formación de cristales de hielo dentro del protoplasma. Un deshielo rápido es muy dañino ya que causa rápidos cambios en la turgencia que interrumpen las funciones de las membranas celulares. Un congelamiento suave también puede matar a muchas plantas semileñosas cuando llega a temperaturas de -15° a -45°C, con una velocidad de enfriamiento que normalmente se presenta en la naturaleza (Weiser, 1970).

De acuerdo con Weiser el agua entra a las células congeladas, deshidrata el contenido celular hasta que se alcanza el punto en que sólo el “agua vital” permanece en el protoplasma. Además, a medida que desciende la temperatura, el agua vital es expulsa fuera del

protoplasma, iniciando la desnaturalización y causando, en última instancia, la muerte. En las plantas tropicales la muerte puede ocurrir en temperaturas superiores al punto de congelación en un rango de 0° a 10°C. Aparte de la precipitación y temperatura que se menciona con anterioridad, cabe señalar algunos factores más que pueden ser atribuibles al medio ambiente forestal, como los siguientes:

### 3. Factores de localización

Los árboles crecen con su corona en la atmósfera y sus raíces en el suelo. A la corona llegan el calor, la luz, el dióxido de carbono y el oxígeno mientras que a la raíz llegan los nutrimentos minerales y el agua necesaria para la fotosíntesis y otros procesos vitales. Estos son elementos básicos que debe abastecer la localización. Sin embargo, su disponibilidad para cada árbol depende de un sistema de relaciones infinito de cambios climáticos, duración del día y evolución del suelo, muchos de estos factores se encuentran relacionados en parte con las características de la vegetación propia del lugar. (Fig. 5a, 5b)

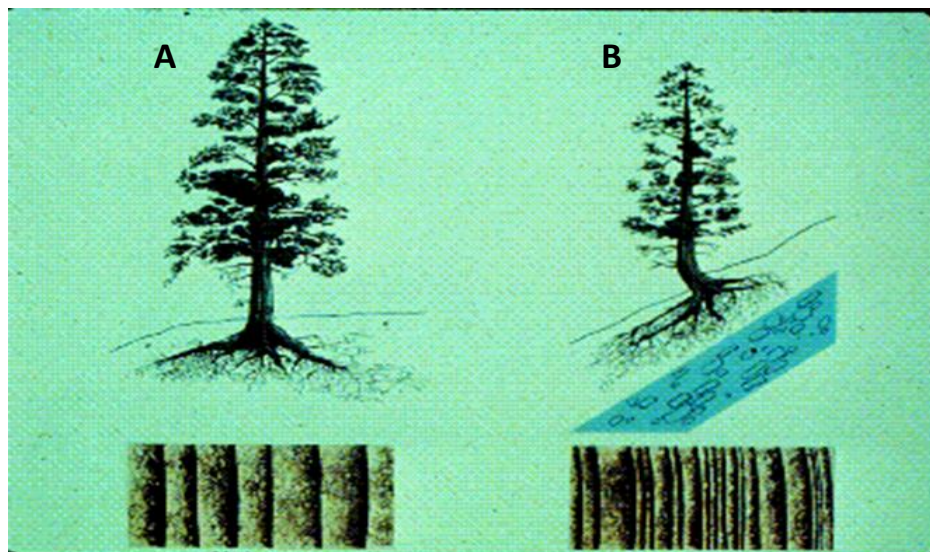


Figura 5. Árboles que crecen donde el clima rara vez limita los procesos de crecimiento producen anillos uniformemente amplios. Los anchos de los anillos proporcionan poco o ningún registro de las variaciones en el clima denominados complacientes. 4b) Crecimiento de árboles en sitios donde los factores climáticos son frecuentemente limitantes, produciendo anillos que varían en el ancho año con año dependiendo la severidad del clima denominados sensitivos (Fritz, 1976).





### 3.1 La luz y el crecimiento de los árboles.

La importancia más obvia de la radiación solar en los árboles forestales descansa en la dependencia de la vida sobre la fotosíntesis y la dependencia que a su vez tiene la fotosíntesis de la luz. El término luz se utiliza aquí porque está bastante bien establecido que es la radiación solar en las bandas visibles del espectro la que afecta el proceso fotosintético. Se utiliza irradiación de luz para expresar la cantidad de radiación recibida por unidad de área en la banda visible del espectro.

Como el grado de crecimiento de los árboles está estrechamente relacionado con su nivel de fotosíntesis y como este puede ser medido bajo condiciones controladas, determinando la absorción de dióxido de carbono del aire por la planta, se han realizado muchos estudios del efecto que tiene la variación de la intensidad de luz en el grado de fotosíntesis. A muy bajos niveles de irradiación, la fotosíntesis se produce en un grado tan bajo que no alcanza para utilizar todo el dióxido de carbono desprendido por la planta en la respiración. Bajo tales condiciones el dióxido de carbono es expelido por la planta más bien que absorbido por esta de la atmósfera.

El punto de compensación de la luz es aquel nivel de fotosíntesis en el cual el dióxido de carbono ni se disipa ni se absorbe. En otras palabras, es el punto en el cual se pierde el balance respiratorio de las ganancias fotosintéticas. Para los árboles forestales bajo condiciones óptimas, el punto de compensación de la luz se presenta entre 1 y 2 por ciento de absorción de la luz solar total (IR).

### 3.2 Fotocontrol de la respuesta vegetal

El crecimiento y desarrollo de todas las partes de la planta, incluyendo la elongación del tallo, el desarrollo de las raíces, el estado latente, la germinación, la floración y el desarrollo de



los frutos están sujetos al mismo Fotocontrol causal por medio del cual se absorbe la luz por un sistema de pigmentos reversibles en la planta, este sistema es la base fisiológica de la fotoperiodicidad, la cual, afecta el ritmo estacional, el tiempo correcto y la cantidad de crecimiento del árbol. El fotoperiodo es la respuesta de la planta a la longitud relativa del día y la noche, y los cambios en estas relaciones a través del año.

#### 4. Viento

La turbulencia y el movimiento del aire tienen muchos efectos sobre la distribución y el crecimiento de las especies arbóreas: 1) el movimiento del aire regula en gran medida la evapotranspiración de la superficie de las hojas, disminuyendo el grosor de la capa límite e incrementando el intercambio gaseoso.

Así el viento ejerce una influencia importante sobre el régimen del agua de la planta y al mismo tiempo ayuda a enfriar las hojas. 2) el movimiento del aire hace circundar las pequeñas cantidades de  $\text{CO}_2$  hacia la superficie de las hojas, haciendo posible la fotosíntesis y puede también distribuir sales y compuestos volátiles y contaminantes atmosféricos que pueden dañar o destruir al bosque y los cultivos agrícolas. 3) un menor efecto biológico del viento es el incremento de la iluminación dentro del bosque que da como resultado la torsión y el doblamiento del follaje. 4) vientos continuos de una sola dirección pueden ejercer una fuente de influencia sobre la morfología y tamaño de las coronas de los árboles.

Biológicamente, la principal importancia del viento es su efecto sobre la evapotranspiración. Cuando una planta es expuesta al viento, los déficits de agua de las hojas aumentan más rápidamente que en localizaciones protegida. Un árbol que realiza todo su desarrollo en un medio ambiente que tiende a generar déficits de agua deferirá fisiológicamente, morfológica y anatómicamente, de un árbol protegido de los efectos producidos por la exposición.



No se podría suponer, sin embargo, que el efecto desecativo del viento es la única razón para tal condición. La acción mecánica de corte producida por la nieve es uno de los factores principales en el desarrollo de la forma de bandera de muchos árboles en el límite de la vegetación arbórea, donde las porciones postradas son protegidas por una cubierta de nieve en los meses invernales.

## 5. Contaminantes atmosféricos

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático copilo los resultados y conclusiones de las investigaciones realizadas en Europa, Asia, África y Norte América sobre la causa del decline de los ecosistemas forestales y por su decaimiento en la productividad primaria en relación a la contaminación del aire (ICPP, 2007).

La mayoría de las referencias determinaron que la polución del aire detiene el crecimiento de los árboles a través de afectar el sistema fotosintético alterando la producción de azúcares y/o dañando el sistema estomático y matando las yemas de crecimiento lateral y apical (crecimiento de primavera y verano) como lo describe ampliamente Lewis (1995) y finalmente el árbol repara y produce órganos reproductivos, particularmente el responsable es el ozono (Smith, 1981).

## 6. Humedad atmosférica

El agua es la sustancia más necesaria para las plantas y se encuentra presente en estas en grandes cantidades. La fuente principal de agua que tiene el árbol, es por supuesto, el suelo, por medio de la humedad que hay en el mismo. La cantidad de humedad en la atmósfera es importante, sin embargo, actúa en forma indirecta debido a que aporta la mayor parte de la humedad del suelo y, afecta el grado de pérdida de agua



de las hojas en el proceso de transpiración. También el follaje puede absorber directamente el agua abastecida por el rocío, la lluvia o la niebla.

La lluvia, nieve y otras formas de precipitación tienen, en forma indirecta, una gran importancia al restablecer humedad del suelo y de esta forma influir en el crecimiento vegetal a través de un efecto posterior. La precipitación también transporta, por arrastre, iones activos que pueden ser utilizados por el árbol por medio del ciclo de nutrientes. Aunque se presentan en algunos casos situaciones en las cuales la precipitación influye directamente en el crecimiento vegetal, se encuentra que en otros particularmente cuando se produce en forma de nieve y nevisca produce importantes daños a los árboles (Stephen *et al.*, 1984).

## 7. Madera

La madera se encuentra en el tronco fuste, ramas y raíces; es un producto del árbol derivado de la actividad del cambium durante el periodo vegetativo. Este tejido meristemático genera cada año una capa de madera hacia el interior del fuste (tronco) y una capa de corteza al exterior (Cancino, 2006).

Formada por células muertas que están muy lignificadas. Su aspecto es seco y duro, es un ser leñosos, donde queda excluida la corteza (García *et al.*, 2003).

### 7.1 Estructura de la Madera

Para su estudio y debido a su heterogeneidad se establecen tres planos o secciones (Fig. 6)

- ✓ Transversal: Perpendicular al eje de la rama o tronco
- ✓ Radial: Que pasa por el eje y un radio de la rama o tronco
- ✓ Tangencial. Paralela a un plano tangente a un tronco o al anillo de crecimiento

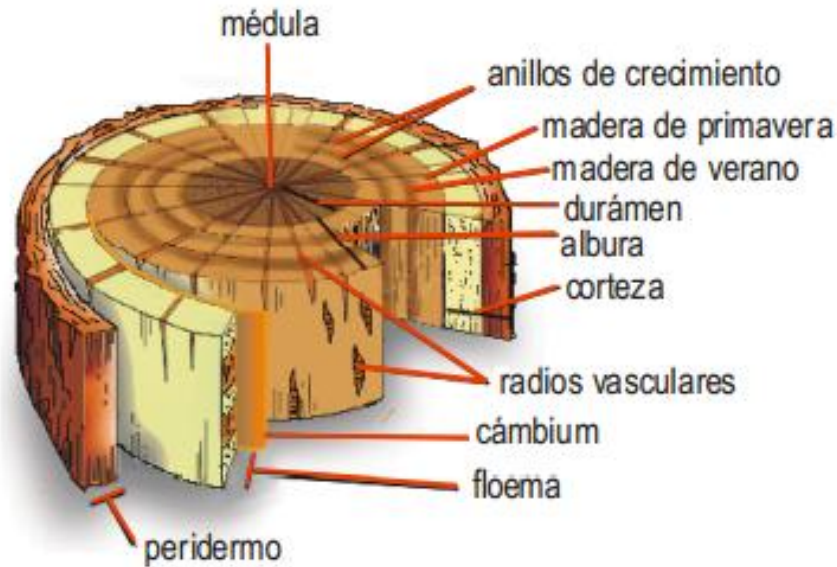


Figura 6. Secciones que se establecen para el estudio de la estructura de la madera (Gracia, 1978).

Al examinar las secciones principales en un tronco de madera se pueden observar las siguientes características que son observables.

*Corteza externa:* es la capa más externa del árbol. Está formada por células muertas del mismo árbol. Esta capa sirve de protección contra los agentes atmosféricos.

*Corteza interna:* Ó líber, por donde circula la savia descendente.

*Leño o tejido leñoso:* Que corresponde básicamente a lo que conocemos como Madera.

*Cámbium:* Es la capa que sigue a la corteza y da origen a otras dos capas: la capa interior o capa de xilema, que forma la madera, y una capa exterior o capa de floema, que forma parte de la corteza.

*Albura:* Es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los compuestos de la savia. Las células transportan la savia, que es una sustancia azucarada con la que algunos insectos se pueden alimentar. Es una capa más blanca porque por ahí viaja más savia que por el resto de la madera.

*Duramen (o corazón)*: Es la madera dura y consistente. Está formada por células fisiológicamente inactivas y se encuentra en el centro del árbol. Es más oscura que la albura y la savia ya no fluye por ella.

*Médula vegetal*: Es la zona central del tronco, que posee escasa resistencia, por lo que, generalmente no se utiliza (Gracia, 1978).

## 7.2 Composición Química de la Madera

Químicamente la madera tiene dos formas de composición: (Fig. 7)

a) Composición elemental: C (50%), H(6.1%), O(43%), N(0.1-0.2%), cenizas (0.2-0.7%).

Celulosa: comportamiento fundamentalmente elástico. Resiste la tracción.

Lignina: Comportamiento cementante. Resistente a la compresión.

Hemicelulosa: Comportamiento cementante pero de carácter encolante.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA		CONÍFERAS	FRONDOSAS		
Comp. primarios	Lignina 18–41%	28–41%	18–25%		
	holocelulosas	Hemicelulosas	23%	26%	
		15–35%			
		Celulosas	40–60%	50%	50%
90–97%	Comp. secundarios	<u>Sustancias orgánicas: extractivos</u>			
	3–10%	Grasas, resinas, aceites, ceras, alcaloides, almidón, azúcares, taninos, pigmentos			
		<u>Sustancias minerales: cenizas</u>			
		Sílice, oxalato cálcico.			

Figura 7. Composición Química de la madera (Fengel et.,al. 1984).

b) Composición Química:

- ✓ Celulosa: denominada también sustancia estructural, es un polisacárido compuesto exclusivamente por células de glucosa, es rígido, insoluble en agua y contiene de entre varios a cientos de miles de unidades de  $\beta$ - glucosa.



- ✓ Holopolímero lineal, formado por unidades  $\beta$  -glucopiranososa (glucosa)
- ✓ Una molécula de glucosa puede medir hasta 5.000nm,
- ✓ Proporciona resistencia mecánica a la fibra.

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa. Los múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo, que se establecen entre distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, originan fibras compactas de mayores dimensiones denominada microfibrillas que constituyen la pared celular de las células vegetales. La celulosa es el principal componente de las células de las plantas y representa aproximadamente el 50% del peso seco de la madera. (Gracia, 1978).

- ✓ Hemicelulosa: A diferencia de la celulosa formada únicamente por moléculas de glucosa, en la composición de la hemicelulosa intervienen glucosa y otros azúcares solubles en agua que se originan durante la fotosíntesis. El grado de polimerización de la hemicelulosa es notablemente menor que el de la celulosa y forma cadenas ramificadas a diferencia de las cadenas lineales de la celulosa. La hemicelulosa interviene en la formación de las microfibrillas en las que se dispone rodeando y manteniendo unidas las fibras de celulosa.

- ✓ Lignina: Es un complejo químico formado por la deshidratación de azúcares que origina estructuras aromáticas. Las reacciones que intervienen en la formación de estos compuestos aromáticos son irreversibles y, por tanto, los compuestos resultantes son muy estables. La lignina es un polímero tridimensional que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos y de múltiples azúcares.

- ✓ Además de la celulosa, hemicelulosa y ligninas, tanto en la pared como en el lumen de las células se encuentran otros compuestos orgánicos e inorgánicos aunque no forman parte de la estructura de la pared celular. Representan entre un 2 y un 15 por ciento del peso de la madera y le confieren las propiedades características de cada especie. Taninos, aceites esenciales, grasas, resinas, ceras, terpenos, fenoles y un componente tan importante como el almidón constituyen este conjunto que, colectivamente, recibe el nombre de



substancias extractables ya que pueden extraerse de la madera calentándola en agua, alcohol u otros disolventes (Gracia, 1978).

## 8. Anillos de crecimiento

El xilema producido durante un periodo de crecimiento forma una capa cilíndrica, que en un corte transversal de tallo se llama anillos de crecimiento. Estos anillos generalmente se ven a ojo desnudo en un tallo de varios años; tienen una parte clara y una oscura. En especies de regiones templadas, con estaciones bien diferenciadas, la parte clara es el leño temprano o de primavera, menos denso, con células de mayor diámetro, la parte oscura es el leño tardío o de verano. En especies que viven en las regiones tropicales ésta alternancia, corresponde a las estaciones lluviosa y seca respectivamente (Gracia, 1978).

En Gimnospermas el leño tardío tiene traqueidas de lumen más reducido, fibrotraqueidas; en Dicotiledóneas las células son más estrechas y suelen tener pared más gruesa, los vasos son de menor diámetro o faltan. El leño temprano se mezcla gradualmente con el tardío del mismo período; solamente se marca una línea neta entre el leño tardío de un período y el temprano del siguiente período (Gracia, 1978).

### 8.1 Falsos anillos

En numerosas especies tropicales, los anillos de crecimiento corresponden a períodos de sequía o períodos de lluvia, caída de hojas y/o dormancia, pudiendo ocurrir dos o más ciclos en un año, por lo tanto los anillos de crecimiento no siempre son anillos anuales.

Es común encontrar en troncos, anillos de crecimiento discontinuos o los llamados falsos anillos de crecimiento, que dificultan la determinación exacta de la edad de un árbol y cuya formación puede atribuirse a causa externas que alteran el funcionamiento normal del cambium. Los anillos discontinuos, ocurren principalmente en árboles que presentan copa asimétrica.



Algunas regiones del tronco permanecen en dormancia durante una o varias estaciones de crecimiento, provocando discontinuidad en los anillos.

Las causas de la presencia de los falsos anillos de crecimiento pueden ser: heladas tardías, caída temporal de hojas, defoliación y fluctuaciones climáticas en general. (Fig. 8)



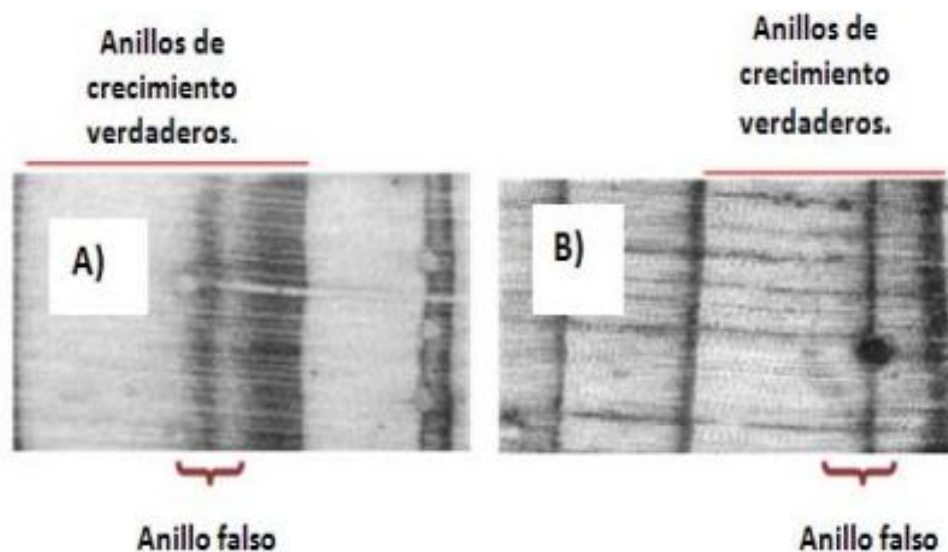
**Figura 8. Núcleo de *Abies religiosa* tomadas de Izta Popo que muestra anillos falsos en su cronología.**

El ancho de los anillos de crecimiento varía desde una fracción de mm hasta algunos cm, esto depende de la especie y de otros factores: duración del período vegetativo, temperatura, humedad, calidad del suelo, insolación y tratamiento silvicultural, espaciamiento, raleos, etc.) (Peter H. Raven, Ray F. Evert, Susan E. Eichhorn, 1992)

Anillos falsos son los siguientes:

- ✓ Anillo anual falso: Capa adicional de crecimiento que se forma cuando este se interrumpe durante la estación favorable a causa de condiciones climáticas adversas o el ataque de plagas, reanudándose a continuación.
- ✓ Anillo anual múltiple: Se forman durante una estación de crecimiento en la cual se presentan múltiples activaciones de crecimiento de los brotes durante la estación.
- ✓ Anillo discontinuo: Un anillo de crecimiento que presenta discontinuidades en su perímetro debido a partes en las que el cambium estaba en reposo vegetativo.
- ✓ Anillo doble: Crecimiento anual en grosor que comprende dos anillos.

- ✓ Anillo falso: Un segundo o posterior anillo de crecimiento con células de madera tardía, causado por la interrupción del crecimiento dentro del periodo vegetativo debido a sequía, defoliación, heladas tardías, etc (Fig. 9).
- ✓ Anillos porosos: En frondosas, anillo anual en el que el diámetro de los vasos de primavera es marcadamente mayor que el de los formados en verano.
- ✓ Anillo traumático: Zona de tejido traumático, producida por un cambium que ha experimentado daños. Las causas comunes son heladas (en general tardías), sequías y fuegos. Los tejidos tienden a incluir parénquima herido de forma irregular y coloreado de oscuro por la presencia de gomas y resinas; algunas veces presentan canales intercelulares y grietas de sequía. Tales anillos, cuando la causa es conocida se llaman anillos de heladura y anillos de sequía.



**Figura 9.** Muestra de anillos falsos, que aparecen como bandas angostas de traqueidas de paredes gruesas (madera tardía), rodeada por ambos lados de paredes delgadas y traqueidas de diámetro amplio (madera temprana). (Kuo and McGinnes, 1973).



## 8.2 Crecimiento de un anillo

El crecimiento de un árbol es el aumento de su tamaño en el tiempo o el proceso principal que se pretende influir con la silvicultura pues conlleva al producto deseado (Louman *et al.*, 2001), para Lira (1994) (Citado por Espinosa, 2006) el crecimiento y desarrollo de las plantas forman una combinación de diversos eventos en diferentes niveles, desde el biofísico y bioquímico hasta el organísmico, que dan como resultado la producción integral de un organismo, por su parte Ayerde (1996), define el crecimiento como los resultados de la interacción de dos fuerzas opuestas, generalmente conocidas como los procesos anabólicos y catabólicos.

El crecimiento de los árboles individuales se refleja en el aumento de los tejidos (floema, xilema, tallo, parénquima) a través del tiempo, en el cual se produce la suma de la división celular, alargamiento del meristemo primario y engrosamiento de las células del meristemo secundario.

En consecuencia se puede definir el crecimiento de los árboles como el resultado de la modificación conjugada de diversas variables dendrométricas como el diámetro, la altura, el área basimétrica, la forma del tronco y el volumen (Imaña y Encinas, 2008). Según Petit (2008) existen dos tipos de crecimiento, el primario o apical que ocurre en el ápice del vástago (yema terminal) y el secundario cambial o diametral que se origina por la acción de las células del cambium en el tallo de una planta leñosa.

Para analizar el crecimiento, es necesario considerar las diferentes clases de tamaño con la finalidad de identificar la información que se oculta en las tasas promedio de crecimiento (Clark y Clark, 1999).

El ritmo de crecimiento puede ser comprendido gracias a los métodos que se realizan en estudios de investigación para conocer el comportamiento del crecimiento de los bosques



mediante el uso de modelos matemáticos, éstos pueden proyectar el crecimiento de una especie o conjunto de especies de interés, en un periodo dado (Calvillo *et al.*, 2005).

El conocimiento de las tasas de crecimiento de los árboles es fundamental para comprender la función de los bosques, y puede estimarse la acumulación de biomasa, captura de carbono, y producción potencial de producto maderable (Brandeis, 2009), sin embargo las diferentes formas de crecimiento hacen que las distintas especies sean seleccionadas como cultivo de árboles, por ejemplo, aquellas de crecimiento rápido son muy importantes por los altos rendimientos, lo cual indica que los manejadores deberían seleccionarlas (Louman *et al.*, 2001).

### 8.2.1 Crecimiento en diámetro

El crecimiento en diámetro de acuerdo a Imaña y Encinas (2008), se refiere al aumento del diámetro de un árbol en un determinado periodo de tiempo, es también denominado crecimiento secundario y es influenciado principalmente por su distribución espacial y por los mismos factores señalados en el crecimiento en altura, está influenciado directamente por la actividad del cambium. Petit (2008) define el crecimiento diamétrico como el aumento en grosor del tronco en cada árbol debido a la actividad del cambium, generadora de líber hacia fuera y leño (madera) hacia adentro, Espinosa y Muñoz (2000), lo definen como el cambio en diámetro de un árbol que tiene estrecha relación con el crecimiento en volumen, altos valores de diámetro implica altos valores de volumen.

El crecimiento diamétrico anual de los árboles es una variable esencial para elegir las especies que deben usarse para reforestación, plantaciones comerciales, proyectos de restauración ecológica y plantaciones de jardines y calles (Williams, 1996).



Para medir el crecimiento en diámetro se cuenta con varios instrumentos que difieren en exactitud, precisión, costo o simplicidad operacional. El empleo de bandas dendrométricas es útil en inventarios forestales donde una proporción de árboles con diferentes diámetros se evalúa a través del tiempo (López *et al.*, 2006). La medición del diámetro se utiliza para estimar, a través del uso de modelos alométricos variables de difícil medición, tales como biomasa de madera y foliar entre otros (Manzano *et al.*, 2010).

La expresión del crecimiento diamétrico de los árboles se representa para diferentes categorías diamétricas, dicha expresión se emplea para explicar cambios y tasas de producción de madera en tales categorías diamétricas a través del tiempo (Uslar *et al.*, 2003).

**Proporción de la última normalización dos años de crecimiento:** Pensando en el crecimiento total durante los dos últimos años ¿Cuánto de eso (en porcentaje) creció el año último?

Un ejemplo: Tenemos las anchuras  $w_1$  anillo,  $w_2$ ,  $w_3$ ,  $w_4$ ,  $w_5$  ... donde  $w_1$  es el más reciente de anillo (más joven).

Calcular valores normalizados como:  $w_1 / (w_1 + w_2)$ ,  $w_2 / (w_2 + w_3)$ ,  $w_3 / (w_3 + w_4)$  ...

$$\text{ganancia de crecimiento: } \frac{\text{crecimiento 1 (W1)}}{\text{crecimiento 1 (W1) + crecimiento 2(W2)}}$$

La ganancia de crecimiento o tendencia debido a la edad refleja, en parte, las restricciones geométricas de tener que añadir un volumen de madera. Si ésta es la principal fuente de variación la tendencia de la serie puede ser descrita con una función exponencial decreciente. Esta forma de tendencia es la que presentan árboles que crecen en lugares abiertos, sin competencia por la luz y los nutrientes.

La Ganancia de Crecimiento nos indica una proporción de la estandarización de los dos años de crecimiento: para cada valor de la anchura del anillo, éste algoritmo calcula un valor que describe éste año de crecimiento como proporción de los dos últimos años el crecimiento.



### 8.2.2 Crecimiento en altura

El crecimiento en altura es el resultado de la actividad de los tejidos meristemáticos primarios. La longitud de las fases de crecimiento juvenil, madurez y senectud como el tamaño acumulado varía ampliamente tanto entre especies como dentro de una misma (Cancino, 2006). Ésta variable, produce la modificación más notoria del crecimiento, especialmente en la edad juvenil en que es más fácil observar la rapidez de la modificación de la altura en periodos cortos de tiempo (Imaña y Encinas, 2008).

### 8.2.3 Importancia del estudio del crecimiento

La importancia del estudio del crecimiento e incremento de los bosques y árboles, recae en el interés de los silvicultores para determinar su respuesta y su proyección a un determinado tiempo para su mejor manejo (Calvillo *et al.*, 2005), la medición del diámetro se utiliza para estimar, a través del uso de modelos alométricos variables de difícil medición, tales como biomasa de madera y foliar entre otros (Manzano *et al.*, 2010).

Muchos estudios se han centrado en el crecimiento en altura y en diámetro del fuste de los árboles y de las masas forestales (Thornley, 1999). La información del crecimiento en diámetro se emplea, con otros datos, para explicar los cambios en diámetro y evaluar tasas de producción de madera en diferentes categorías diamétricas a través del año (Worbes, 1995).

El conocimiento básico sobre el crecimiento de los árboles es esencial para proponer el manejo de algunas especies. La información sobre la tasa de crecimiento en diámetro ayudaría a elegir las especies de árboles que deben plantarse en jardines y calles, usarse para reforestación, en plantaciones comerciales y en proyectos de restauración ecológica (Williams, 1996).



## 9. Modelo de Correlación

Las cronologías (continuas o eventuales) son la representación de la medición del ancho de los anillos y en un ambiente no alterado registran a la Temperatura y la Precipitación acelerando o disminuyendo en número de células en cada región del anillo (primavera o verano).

Para establecer una relación entre las variables, su réplica y tendencia es necesario diferenciar entre el ruido y el signo. Para tal fin se requiere de establecer un modelo que nos permita retirar el efecto del crecimiento radial y su conducta en el tiempo, previa estandarización. Por ser todas ellas aleatorias los investigadores (Matalas, 1957; Shuman & Brison, 1965, Fritts & Shankins, 1995; Cook, 1991 y Naurzbaev et al., 2004) coinciden en señalar que el análisis de regresión simple múltiple y el modelo exponencial negativo es lo indicado para cronologías de 25 a 100 años.



## VI. Descripción de la zona de estudio

### 6.1 Parque Nacional Izta-Popo-Zoquiapan

Se ubica aproximadamente a 55 kilómetros al suroeste de la Ciudad de México y 50km al oeste de la Ciudad de Puebla, siendo un punto clave en el monitoreo atmosférico, pues recibe la polución proveniente de éstas ciudades, con lo que se tendrán datos alterados a los normales. El parque cuanta con aproximadamente 40, 000 Ha se ubica en el Eje Neovolcánico Transversal en el límite de tres estados (México, Morelos y Puebla).

Se localiza entre las coordenadas geográficas  $18^{\circ}59'00''$  y  $19^{\circ}16'25''$  de latitud norte;  $98^{\circ}34'34''$  y  $98^{\circ}42'08''$  de longitud oeste. Su límite corresponde a la cota de 3600 m.s.n.m. (Fig.10)

#### 6.1.1 Clima

Clima templado subhúmedo, con lluvias de verano, cuya temperatura media anual es de  $14^{\circ}$  C; siendo el mes más frío enero con  $10.8^{\circ}$  C y el más cálido mayo con  $16.2^{\circ}$  C.

La precipitación media anual es de 928 mm; el mes más seco es febrero con una precipitación de 6.9 mm y el más húmedo, septiembre con una precipitación de 185.6 mm.

El porcentaje de lluvia invernal es de 3.4% y la relación precipitación-temperatura es de 66.3%. Con una oscilación térmica de 5.4, se le considera templado con verano fresco largo, los climas de esta región dependen principalmente de la altitud y corresponden a templado y frío, este último con la variante muy frío (hielos perpetuos), según la clasificación de García (1973), big (clima templado) se encuentra desde el límite inferior del Parque hasta una altura aproximada de 4000m.s.n.m, clima frío de los 4000 a 5000 m.s.n.m. y muy frío en la parte más elevada de los altos picos de altitud superior a los 5000 m.s.n.m.





### 6.1.2 Suelo

Basamento rocoso de flujo de lava andesítico, en diferentes regiones hay rocas sedimentarias y vulcano sedimentarias, basalto y taba intermedia.

### 6.1.3 Vegetación

La vegetación del Parque Nacional Izta-Popo se encuentra relacionada con los pisos altitudinales de los mismos, el límite de la vegetación arbórea en estos volcanes se ubica en una altitud de 4000 msnm florísticamente se distinguen 3 pisos fundamentales de vegetación.

- Pinar abierto de *Pinus hartwegii* (3300-4300 m) con abundantes gramíneas amacolladas, el bosque en altitudes más bajas se mezcla con abetos y aile.
- Pradera subalpina (zacatonal alpino) (3800-4300 m).
- Pradera alpina (vegetación de paramos de altura) (4000-5000 m)

Cuenta con bosques compuestos principalmente por el oyamel (*Abies religiosa*), en la altitud de 2.850 metros a 3.200 m, y el pino (*Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. patula*), distribuidos entre 3.000 my 3.800 m (Parque Nacional IztaPopo (2013).

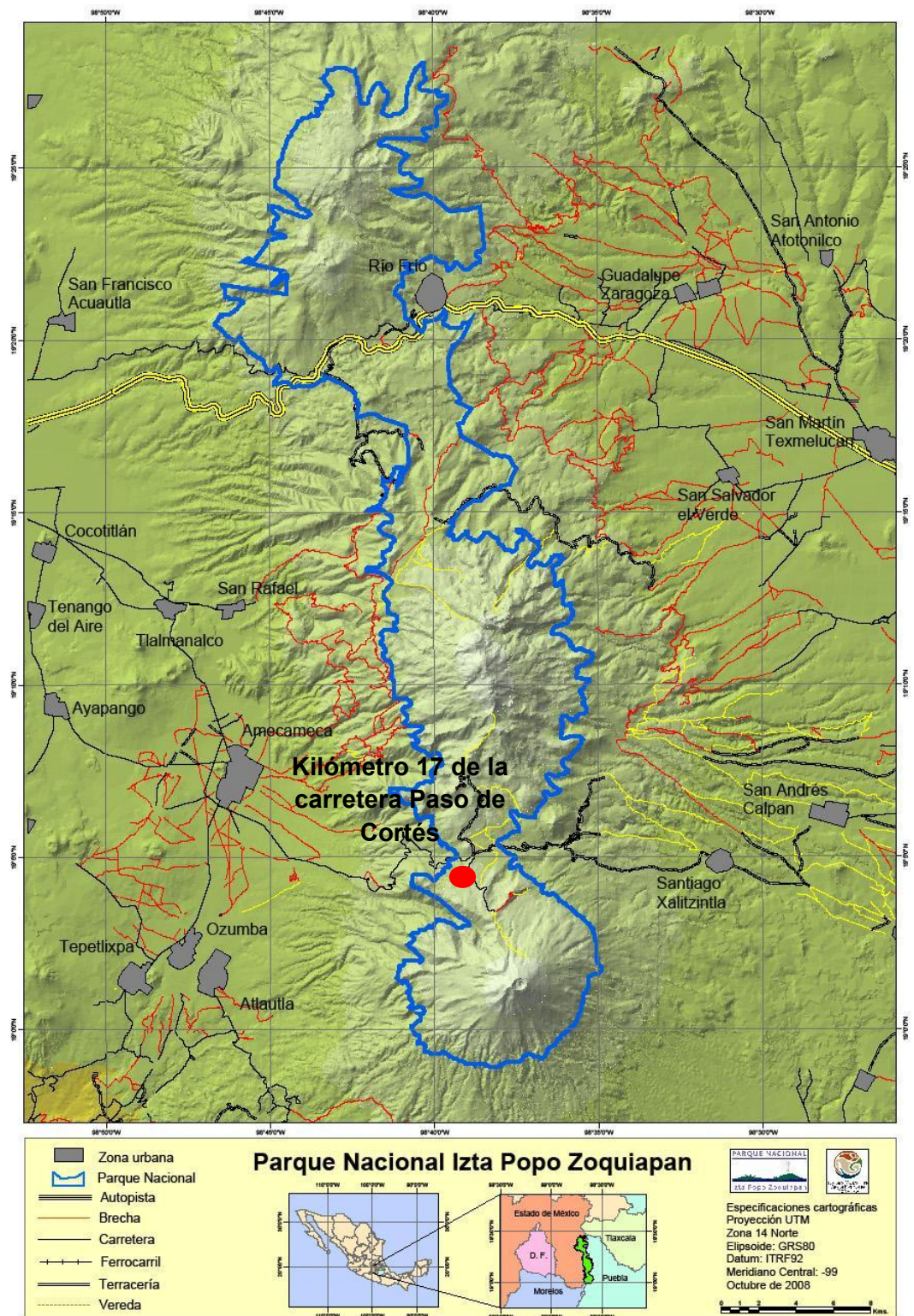


Figura 10. Mapa de zonificación del Parque Nacional Iztapalapa (tomado de CONANP, 2013) el punto rojo representa la zona del parque muestreada.



## 6.2 Parque Nacional El Chico

Geográficamente se ubica entre las coordenadas extremas de los 20°10'10" a 20°13'25" latitud Norte y los 98°41'50" a 98°46'02" de longitud Oeste, cuya extensión territorial es de 2 739-02-63 ha posición enclavada en el sector centro Sur-Oriente de la República Mexicana, que corresponde al extremo occidental del sistema orográfico Sierra de Pachuca, incluido en la porción austral del Eje Neovolcánico Transversal.

El Parque Nacional El Chico al estar ubicado en el extremo Occidental de la Sierra de Pachuca, sus altitudes varían desde los 2 320 msnm en la porción Norte hasta los 3 090 msnm en la porción Sur, así como los particulares rasgos fisiográficos, permiten una alta diversidad del hábitat para la vida silvestre. (Fig. 11)

### 6.2.1 Hidrología

Tiene especial relevancia dado que el macizo montañoso que comprende, el cual constituye una mínima fracción del parteaguas que separa a los sistemas hidrológicos correspondientes a las cuencas del Río Pánuco y Valle de México (Melo y López, 1993).

### 6.2.2 Suelo

El origen volcánico terciario, su nivel altitudinal, la morfología del relieve y los procesos actuales, han formado gran homogeneidad de suelos, recientes y poco evolucionados, bajo condiciones templado-húmedas (Melo y López, 1993).

### 6.2.3 Climatología

De acuerdo con Melo y López (1993), a nivel regional el parque está sujeto a la influencia del clima C (wo'') (x') b (i'), condición genérica modificada localmente por factores de relieve y altitud que determinan un clima Cb (m) (w) (i') gw, según Enriqueta García basándose en la clasificación climática de Köppen, para la estación Mineral del Chico enclavada en el extremo Norte del parque, cuyas características son: templado-subhúmedo con verano fresco y largo;



temperatura media anual entre 12 y 18°C; temperatura media del mes más frío entre -3 y 18°C, y la del mes más caliente superior a 26.5°C.

Régimen de lluvias de verano con precipitación anual, por lo menos diez veces mayor volumen de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco. Porcentaje de precipitación invernal respecto a la total anual inferior a 5%, con poca oscilación térmica.

El ambiente fresco-húmedo, el menos extenso en el parque (199.75 ha., 7.29%), se confina al extremo Norte englobando al poblado Mineral de El Chico; ocupa la franja altitudinal más baja del área, comprendida entre las cotas 2 500 y 2 300 msnm, donde el rango térmico medio supera los 12°C y la precipitación pluvial fluctúa de 1 400 a 1 500 mm anuales, correspondiendo a este ambiente la mayor humedad relativa del área. Su grado de bienestar es regular.

Los vientos dominantes en la mayor parte del Parque Nacional provienen del Noreste, aunque en la época seca son frecuentes también los que soplan del Noroeste. Durante casi todo el año está sujeto a la acción de vientos moderadamente fuertes por la tarde, en ocasiones llegan a derribar árboles.

#### 6.2.4 Vegetación

De la misma manera, Medina y Rzedowski (1981), dan a conocer las principales comunidades vegetales de la parte alta de la Sierra de Pachuca y señalan 116 especies de plantas comunes en el área. Zavala (1995), señala la presencia de 20 especies de encinos (*Quercus* spp.) en los diferentes tipos de vegetación del Parque y su área de influencia. Así mismo, Hernández (1995), realizó el estudio florístico-fanerogámico del Parque donde presenta una lista de 300 especies.

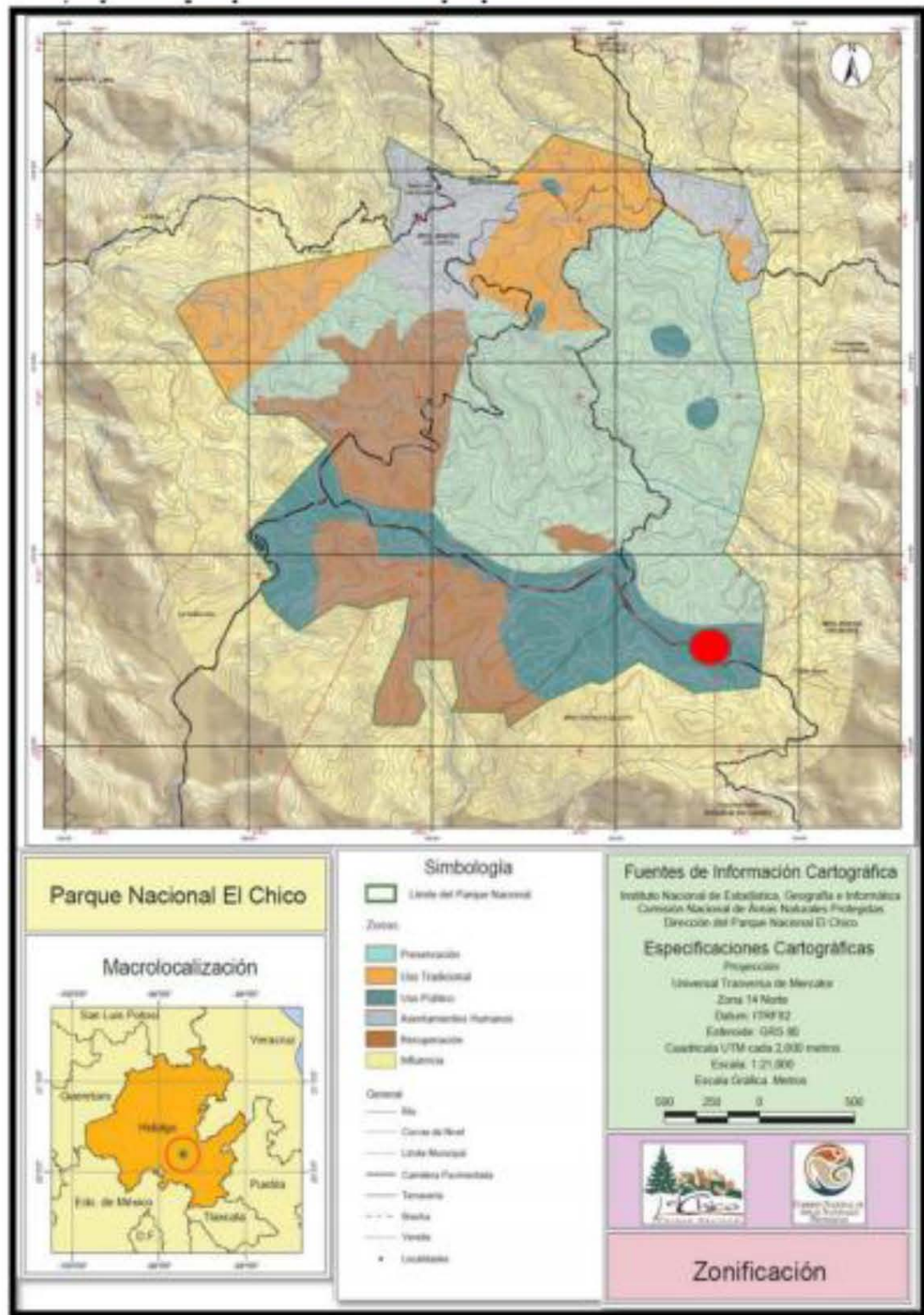


Figura 11. Mapa de zonificación del Parque Nacional Mineral El Chico, Hgo (Tomada de CONANP, 2005) el punto rojo representa la zona del parque muestreada.



## VII. Método

### 7.1 Fase de campo

Se seleccionaron árboles de *Abies religiosa* de acuerdo a lo descrito por Grisso (2003) para la extracción de las muestras del núcleo de los árboles, para lo que se necesitó el siguiente material:

- ✓ Un Taladro Pressler de 17' de longitud y 6 mm de diámetro.
- ✓ Popotes de plástico cortados de forma longitudinal, para el transporte de los núcleos extraídos y así evitar su rompimiento.
- ✓ Táquetes de madera previamente impregnados de solución de formol al 5%.
- ✓ Etiquetas de papel adherible o en su defecto masquín type.
- ✓ Bastidores de madera de 30-40cm de longitud por 1cm de anchura con un pequeño canal en un costado de forma centrada de tal manera que entre el núcleo.
- ✓ Guantes para evitar la contaminación del núcleo al extraerlo del árbol.
- ✓ Marcador.
- ✓ Flexómetro.

Se seleccionaron 15 árboles para cada zona de estudio, las muestras se etiquetaron con información específica del árbol (albura) y del sitio para una mejor interpretación de resultados en laboratorio. El número de ejemplares parece suficiente para obtener una muestra representativa, a juzgar por los trabajos de otros autores (Fritz, 1965).

Las muestras o cores (núcleos) se obtienen a la altura del pecho con un taladro Pressler de 17' de longitud y 6 mm de diámetro que permite extraer un cilindro de madera, llamado core o testigo. Para evitar que con la extracción de los núcleos el árbol pueda ser invadido por alguna plaga se taponeo el orificio con taquetes de madera previamente tratados con formol al 30% lo que también ayuda a que el árbol cicatrice más rápidamente.



Se extrajeron 2 muestras de cada árbol perpendiculares entre sí (núcleo A y núcleo B), para recoger toda la secuencia en el caso de que el fuste tenga un crecimiento excéntrico y compensar el distinto crecimiento según su orientación N y S, una vez seleccionada el área de estudio se escogieron especies que no presentaran daño físico en el fuste, ni parásitos para evitar un atascamiento del taladro, también se evitó el muestrear árboles que presentaran bifurcación, que estuvieran ocoteados o quemados, en general se escogieron árboles que se observaran sanos, con una buena apariencia, con una retención de copa de más del 75%, con un perímetro de tronco mayor de 100cm para tener una amplia cronología de los anillos de crecimiento.

Para la extracción de los núcleos se observó la pendiente del árbol, ésta, nunca debe de ser en contra pues por la presión que ejerce la pendiente sobre el árbol y la resistencia de este durante su ciclo de vida dificulta la expresión de los anillos en la muestra y se observaran muy difícilmente, aparte de que se complica la extracción de la muestra intacta (Fig. 12)

Dado esto, se perforó a un costado de la pendiente para una toma de una muestra buena. Para la extracción del núcleo se debe tomar en cuenta que al introducir el taladro no se debe de mover pues puede provocar un rompimiento de las células de la madera, lo que también provoca que los límites de los anillos sean más difíciles de distinguir, las células se hacen más elípticas dando forma a ángulos mayores, el taladro irá girando en el sentido de las manecillas del reloj a la altura del pecho (1.30m) (Grissino-Mayer 2003).

Para su traslado al laboratorio se utilizaron popotes previamente cortados longitudinalmente para la inserción de los núcleos, se etiquetaron colocando el número de muestra, zona, coordenadas geográficas, diámetro a la altura del pecho, diámetro basal, altura y especie.



**Figura 12. Obtención de los núcleos de crecimiento de las zonas de estudio. Barrenamiento con el taladro Pressler y Extracción del núcleo con el extractor de incrementos.**

## 7.2 Fase de laboratorio

Una vez en el laboratorio se dejan secar en una estufa Kimet (Fig. 12) a 40°C durante 5 días para eliminar la humedad y evitar la proliferación de microorganismos (hongos, bacterias).



**Figura 13. Estufa Kimet para el secado de los núcleos de oyamel extraídos.**



Se requirió de bastidores de madera de 30-40cm de longitud por 1cm X 1cm con un pequeño canal para la inserción de los núcleos previamente secados, tomando en cuenta que el lado del núcleo que más brillo da al girarlo es el que se pondrá de cara superior en el bastidor. Una vez pegado y seco el núcleo sobre el bastidor se pulen las muestras con lijas de grano sucesivamente más fino (1200, 800, 300), hasta conseguir una superficie lo bastante liza para permitir la observación con lupa binocular o estereoscopio, por último colocamos en las orillas papel milimétrico marcando los años por quinquenios para tener una escala al momento de escanear o sacar fotografías de los núcleos (Fig.14).



**Figura 14. Observación con estereoscopio para la datación segura de los anillos de crecimiento**



La datación absoluta de los anillos de cada rodillo no puede hacerse directamente, ya que pueden existir anillos dobles, múltiples, falsos o incluso ausentes. Este fenómeno puede ser debido a una detención momentánea del crecimiento en plena estación vegetativa, seguida de alguna reanudación del mismo, lo que dará un falso o doble anillo. También puede suceder que un anillo muy delgado, formado casi exclusivamente por madera final, aparezca íntimamente unido a la madera final del año anterior, lo que produce la impresión de un anillo ausente (Schulman, 1956)

Para una buena resolución de los anillos de crecimiento y tener una mayor confiabilidad en las anomalías encontradas se procedió a observar y fotografiar los anillos con ayuda de un estereoscopio MOTIC modelo DMW143 y resolución 4X de la zona de estudio, pudiendo datar la cronología de los anillos desde el centro hacia la corteza, asignando al último anillo la fecha del año presente. De esta manera podemos datar cada sector del tronco y por lo tanto asignar fechas absolutas a los fenómenos que observamos en la madera.

### 7.3 Fase experimental

A continuación se procedió a escanear los núcleos con un programa especializado llamado WinDENDRO (Fig.15) el cual ha sido específicamente diseñado para análisis dendrológicos y dendrométricos buscando una manera precisa y eficiente para medir la anchura de los anillos anuales de árboles y otros parámetros como:

- ✓ Densidad (máx./mín.)
- ✓ Anchura de los anillos (madera temprana y tardía) en milímetros.

Para construir la cronología de los anillos de crecimiento extraídos de *Abies religiosa* de los núcleos A y B, procedemos a realizar el crossdating siendo de vital importancia el cual asegura que el ancho de cada anillo y valor climático se coloca en su secuencia temporal adecuada implicando el conteo anillo por anillo y ancho del patrón en mm, para minimizar el error de conteo, o error causado por la falta o falsos anillos.



**Figura 15. Escáner WinDENDRO con los núcleos extraídos de las zonas de estudio.**

Posteriormente la base de datos extraída de WinDENDRO en archivo de texto, exportamos la matriz de datos completa a Windows Excel 2007, de las nueve variables que nos da el programa, sólo utilizaremos la del anillo total de crecimiento y comenzamos a depurar empatando cada año del núcleo A y que fuese el mismo año del núcleo B, y así hasta concluir con toda la cronología, se calculó el promedio de crecimiento de cada año para todos los árboles muestreados y se sacó la cronología.

Se fueron colocando los anillos retrospectivamente de corteza (año actual) hasta el último anillo extraído por el Taladro Pressler, una vez realizado esto se graficó la línea de datos con sus respectivos años, para después ir relacionando estos anchos de anillos con los registros de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas más cercanas a las zonas de estudio e ir comparándolos para ver la relación en el crecimiento y los parámetros ambientales.



Para la normalización de los datos y la eliminación de la tendencia debido a la edad, se procedió a obtener:

- ✓ La Ganancia de Crecimiento, donde Larsson establece que para cada valor de la anchura del anillo, este algoritmo calcula un valor que describe el crecimiento de este año como proporción de los dos últimos años el crecimiento.

Ya obtenidas las ganancias de crecimiento se procedió a obtener:

- ✓ La Estandarización del Crecimiento

La estandarización es un proceso que con fines del análisis de los datos elimina los efectos bióticos y abióticos sobre el crecimiento. Por ejemplo, por el propio envejecimiento del árbol se producen anillos más angostos al final de la vida del árbol. Otros factores que afectan el crecimiento son la competencia por recurso agua, luz y nutrientes entre árboles vecinos, la variación de clima, y los agentes externos como son, los incendios y las plagas (Cook y Briffa, 1990). Debido a la diversidad de agentes que afectan el ancho de anillo es difícil obtener conclusiones directamente del ancho de anillo.

Representando en una ecuación los factores que determinan en ancho de anillo, se tiene la siguiente expresión (Cook y Briffa, 1990):

$$R_t = A_t + C_t + D_{1t} + D_{2t} + E_t$$

Donde:

$R_t$  es el ancho de anillo observado.

$A_t$  es el efecto biológico (la edad).

$C_t$  es el efecto climático.

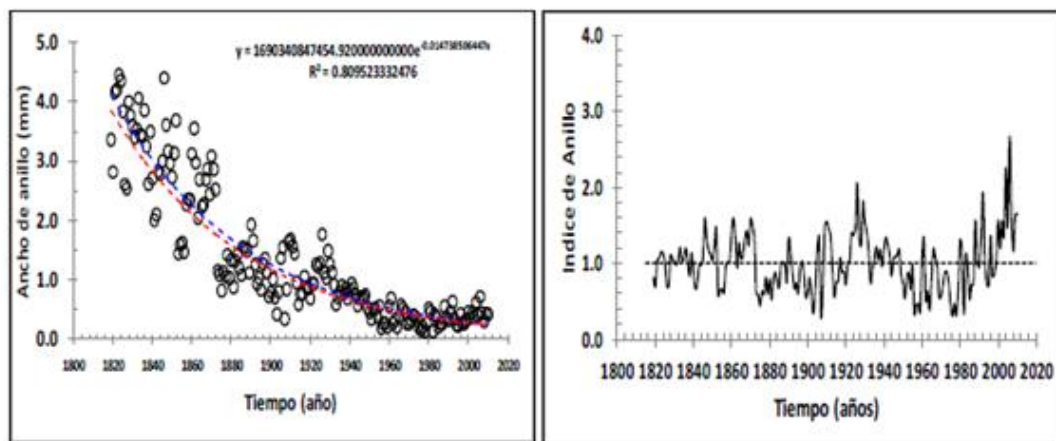
$D_{1t}$  es el efecto de perturbaciones debidas a factores endógenos (competencia).

$D_{2t}$  es el efecto de perturbaciones debidas a factores no explicados (variación natural).

$E_t$  es el de variabilidad debida a otros factores no explicados (variación natural).

Esta ecuación expresa que cualquier anillo de crecimiento (R) formado en un determinado año (t) es una función de la tendencia de crecimiento relacionada con la edad (A), condiciones climáticas (C), factores internos del bosque que puedan afectar el crecimiento (D1), factores externos del bosque que puedan afectar el crecimiento (D2) y la acción de cualquier otro factor aleatorio (E) que no sea tomado en consideración por los anteriores.

El proceso de estandarización de los anillos de crecimiento consiste en generar un nuevo indicador a partir del cociente entre los valores reales de ancho de anillo y los valores predichos por un modelo de regresión. Se han empleado diferentes modelos de regresión para relacionar el ancho de anillo y la edad del árbol. El modelo exponencial y las ecuaciones polimórficas de grado 2 al 4 son los dos modelos más comunes (Villanueva *et al.*, 2010). En la figura 16, se muestra un ejemplo de estandarización, donde se empleó el modelo exponencial.



**Figura 16. Ejemplo de la estandarización de anillos de crecimiento. La gráfica de la derecha representa el cociente de los valores reales entre los predichos.**

## 7.4 Fase de Gabinete

Los registros de temperatura y precipitación se tomaron de las estaciones de monitoreo ambiental ubicadas en Mineral del Chico 13112 y San Rafael 15106 siendo las más cercanas a las zonas de estudio, estos datos se encuentran en bases de datos con registros diarios por lo



que tuvimos que hacer los promedio mensuales y anuales, para Mineral del Chico desde el año de 1980 y para San Rafael desde 1960. Una vez obtenidos los datos se realizó la normalización de estos construyendo una matriz de datos para posteriormente ingresarlos a Origin Lab.

Versión 8.0

Ya listas las matrices de datos tanto de anchura de anillos como de la precipitación y temperatura se fueron contrayendo las gráficas para el mejor entendimiento de las variables con la anchura de los anillos de crecimiento, con el programa Origin 8 se graficaron anchos vs precipitación (pp) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), ganancias de crecimiento y residuales, mientras que con el programa Statgraphics se realizó el análisis de correlación entre las variables.

Por último se consultaron artículos científicos relacionados con el tema, en esta etapa analizaremos y discutiremos los resultados obtenidos para interpretar lo datos dando un enfoque ecológico y llegar a una conclusión.

## VIII. Análisis y discusión de resultados

### 8.1 Crecimiento Total de Oyamel de Izta Popo y El Chico

Se analizaron 33 árboles de Oyamel, 2 núcleos para cada árbol con un total de 13 árboles muestreados correspondientes al Parque Nacional Iztapopo y 20 para El Chico Hidalgo, obteniendo cronologías que comprendieron el periodo de 1901-2012 para la primera localidad y de 1854-2012 para la segunda localidad.

En la Figura 17, se observa la línea de tendencia con el promedio de las muestras de los núcleos de las dos zonas de estudio. Los años de crecimiento se representan en el eje horizontal y los promedios de crecimiento en el eje vertical.

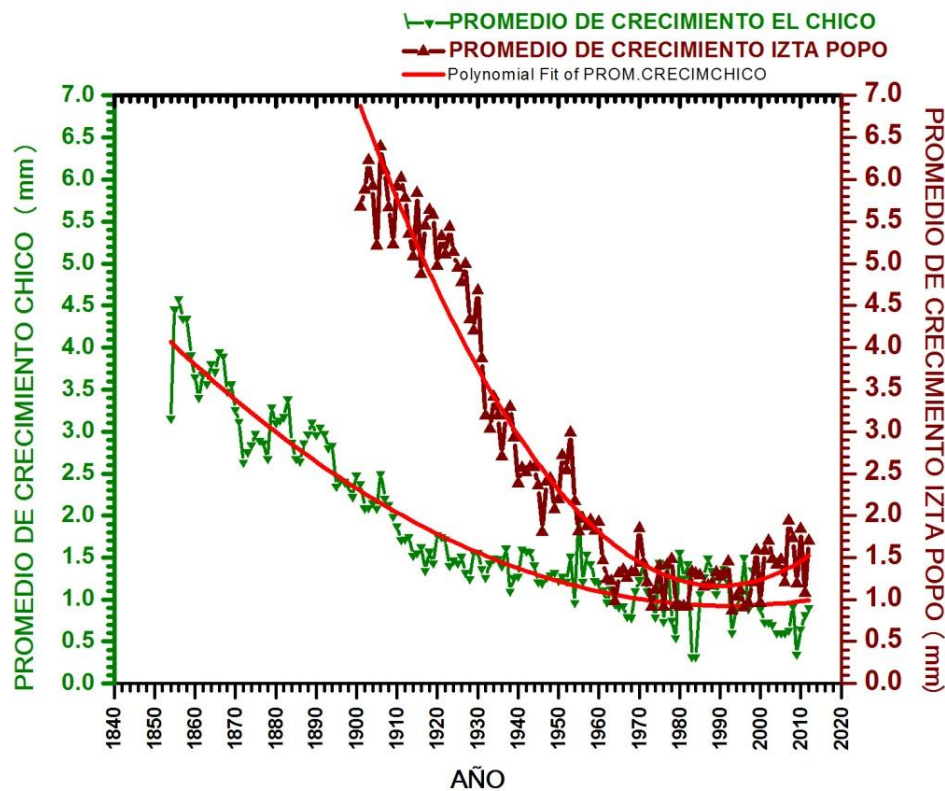


Figura 17. Anchuras de promedios de anillos de crecimiento de los Parques Nacionales Izta Popo y El Chico Hidalgo.



Al comparar las dos curvas, se encontró que existen estrechos puntos de similitud entre ellos, aunque las tasas globales de crecimiento oscilan para Izta Popo de 5.75 mm a 1.35 mm (Cuadro 2) y de 4.17 mm a 1.17 mm para El Chico (Cuadro 3), la variación en el tiempo es similar. Años buenos y malos de crecimiento se reflejan al mismo tiempo en las dos curvas, donde se observa que desde 1970 al 2012 disminuyen los intervalos de crecimiento para ambos sitios.

**Cuadro 2. Media de los promedios de crecimiento entre los años 1901 a 2012 en Izta Popo**

ZONA	AÑO	AÑOS TRANSCURRIDOS	MEDIA DEL ANCHO DEL ANILLO(mm)
	1901-1915	14	5.75
	1916-1930	14	5.02
<b>IZTA POPO</b>	1931-1945	14	2.91
	1946-1963	17	2.03
	1964-2012	48	1.28

**Cuadro 3 Media de los promedios de crecimiento entre los años 1847 a 2012 en El Chico**

ZONA	AÑO	AÑOS TRANSCURRIDOS	MEDIA DEL ANCHO DEL ANILLO
	1847-1858	11	4.17
	1859-1871	12	3.61
<b>EL CHICO</b>	1872-1878	6	2.80
	1879-1883	4	3.21
	1884-1908	24	2.54
	1909-1953	44	1.47

Sin embargo la cronología del bosque del Chico presenta una disminución menos pronunciada respecto al bosque del Izta Popo, este registro de 1840 a 1905 muestra una gran similitud con la cronología publicada en 1990 por Cook para el abeto rojo y con la cronología publicada por Bernal. S; Terrazas. T y Alvarado. D (2004) para *Abies religiosa* en el Desierto de



los Leones, en donde al igual que en nuestros resultados para los años 1930 y 1970 los anillos de crecimiento muestran una reducción en su anchura.

Por lo que se sugiere que en el año de 1930 la reducción de la anchura de los anillos de crecimiento en ambas zonas fue temporal, ya que para los años siguientes los árboles recuperan el grosor de su anillo, contrariamente a lo que sucede en el año de 1970, en donde se observa una permanente reducción en la anchura de los anillos y para los años subsecuentes ya no se muestra un incremento significativo en la anchura de los anillos.

Este aspecto de disminución en el crecimiento de *Abies religiosa* en Izta Popo, en parte se puede atribuir a la historia de la contaminación atmosférica originada a partir del periodo de los 70's en la Cuenca del Valle de México, que se vio modificada por el aumento de material particulado (Fig. 18), aumentando los ciclos de smog fotoquímico, alterando el régimen de lluvias, temperaturas y humedad relativa, de las zonas circundantes.

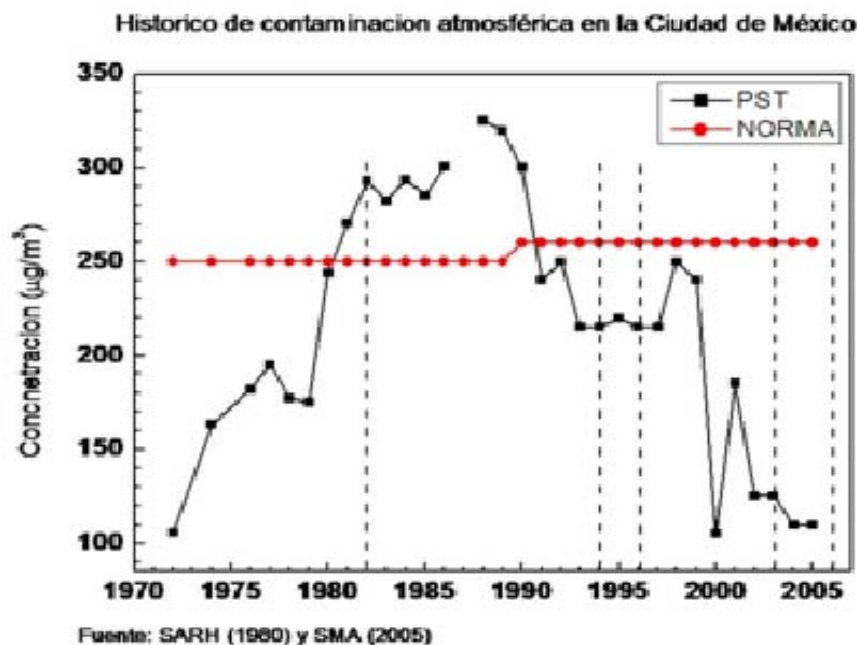


Figura 18. Concentración histórica de las partículas suspendidas totales registrados en la Ciudad de México. Las líneas discontinuas ilustran las emisiones volcánicas del Chichonal (Chiapas) y Popocatépetl (Estado de México).



Aunado a que en 1994 y 1995, el volcán Popocatépetl arrojó a la atmósfera cerca de  $0.001 \text{ km}^3$  de ceniza, la cual repercutió en el decremento de los anillos de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*, ya que como lo señaló Biondi *et al.*, (2003), la ceniza altera caminos de la fotosíntesis, por efecto del reflejo de la luz debido a los polvos de aerosoles a la atmósfera, sumando a estas emisiones las de origen antropogénico de los millones de vehículos que incineran 44 millones de litro por día de carburante, más emisiones de industrias y la Orografía, que rodean al D.F. propician condiciones meteorológicas que benefician su acumulación, favoreciendo las reacciones fotoquímicas con la consecuente alteración en el balance de la radiación (Jazcilevich *et al.*, 2005), proceso que se potencializa con las emisiones biógenas de los bosques y por los incendios agrícolas, originando los VOCs (compuestos orgánicos volátiles).

Los promedios de crecimiento del Chico no presentaron las mismas fluctuaciones como en Izta Popo, pudiéndose atribuir a que se encuentra más alejado de la Zona Metropolitana del Valle de México, por lo que la polución proveniente de la Ciudad de México y las emanaciones del volcán Popocatépetl no le causa un impacto tan directo. Respecto a las escalas establecidas por Blank *et al.*, (1988), el bosque de oyamel ubicado en Izta Popo, estaría considerado con daño moderado, esto, de acuerdo al daño por retención de copa, según Roberts (1987), sería un bosque con daño medio (Fig. 19).



**Figura 19. El follaje escaso en individuos de oyamel de Izta Popo, permite una mayor entrada de luz, lo que provoca que el microclima cambie, aumentando la temperatura y disminuyendo la humedad.**

En lo referente al Chico, el bosque indica un daño ligero, de acuerdo a Blank *et al.*, (1988), manifiesta la primera señal de alarma. Concluyendo que el Parque Nacional Izta Popo presentó un daño mayor (considerándose como un bosque menos vigoroso y con árboles menos sanos), presentándolo como un bosque con daño de severo a moderado, en relación al Parque Nacional El Chico, que presenta un daño ligero (Fig. 20).



**Figura 20. Vista de las copas de los árboles oyamel en el paraje “Estación experimental”, Mineral El Chico**



## 8.2 Edad cronológica de los Parques Nacionales Izta Popo y El Chico Hidalgo

Lo que respecta a la edad de los árboles de Oyamel, de acuerdo con Manzanilla, (1974), la distribución de los años determinará el estadio biológico del árbol, tal como se muestra en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Distribución de edades por año y estadio biológico en *Abies religiosa* en las zonas muestreadas (Manzanilla, 1974)**

Distribución de edades (años)	Estadio Biológico	Promedio de la edad de los árboles muestreados
<b>0-10</b>	Brinjal	
<b>10-60</b>	Juvenil	
<b>61-100</b>	Adulto	
<b>101-140</b>	Viejo	66 años Izta Popo
<b>Mayor o igual a 141</b>	Senil	99 años Chico Hidalgo

Con el conteo de anillos (Fig. 21) en los trece pares de virutas de Izta Popo, se registró una edad promedio de 66 años, cuyo árbol más longevo fue de 102 años, correspondiendo al año 1910 con 102 años y el menos longevo fue de 37 años, nacido aproximadamente en 1975, es decir, que se trata de un bosque se encuentra en entre las etapas juvenil y adulta, de acuerdo a la distribución de edades reportadas por Manzanilla (1974). Lo anterior hace referencia sobre la necesidad que la población requiere de una estructura por edades consolidada, eligiendo sitios para propiciar la estructura.

Con lo que respeta al Chico, de 20 pares de virutas, se encontró una edad promedio de 99 años, cuyo árbol más longevo es del año 1897 con 115 años y el menos longevo de 1948 con 64 años, tratándose de un bosque adulto.

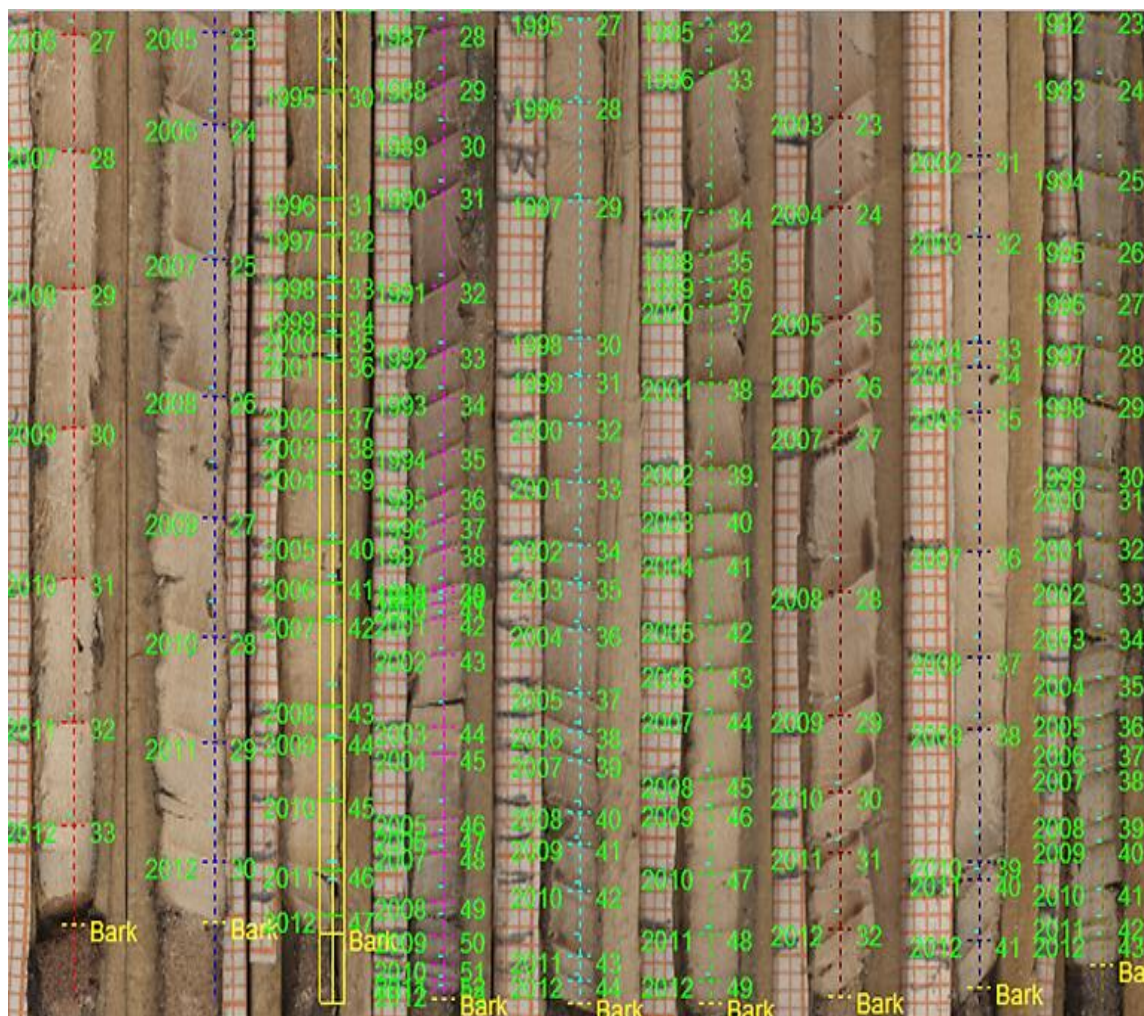


Figura 21. Software WinDENDRO que muestra el Path para la cuenta de los anillos en los núcleos extraídos.

### 8.3. Ganancia de Crecimiento Izta Popo

Cabe señalar que no toda la cronología datada desde 1901 para Izta Popo (Fig. 22) se tomó en cuenta para la relación con los parámetros ambientales (precipitación y temperatura), ya que los estudios dendroclimáticos basados en series instrumentales están severamente limitados por la extensión temporal de estos registros.

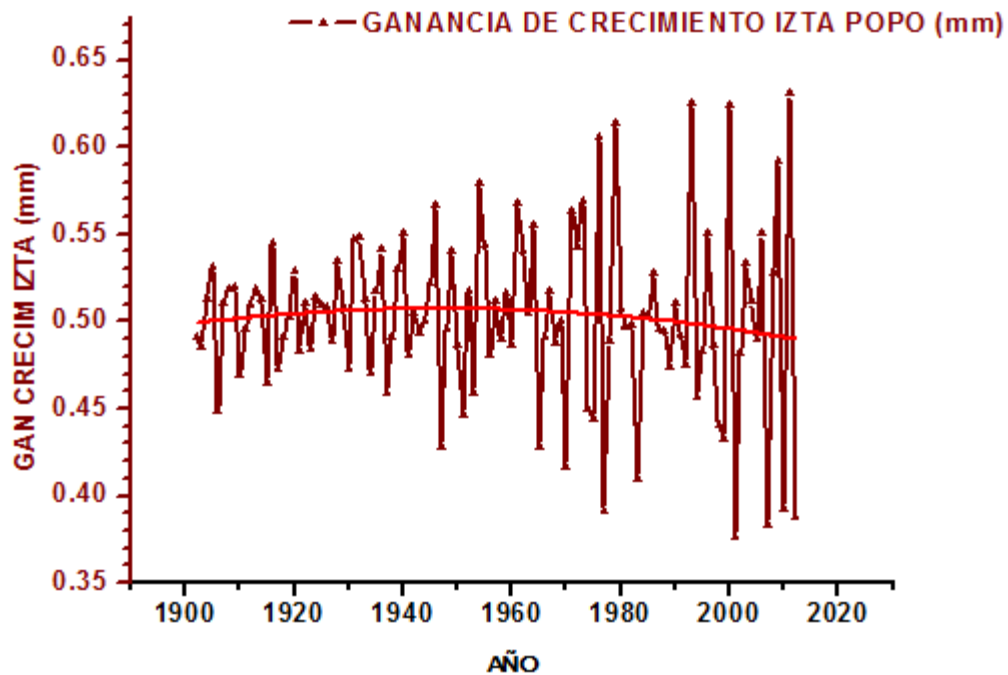


Figura 22. Ganancia de Crecimiento de Izta Popo de 1901 al 2012, la línea roja representa la media de 0.5026 mm.

En cualquier país el número de estaciones meteorológicas con registros de precipitación y temperatura con promedios diarios, mensuales y anuales de alrededor de 100 o hasta 50 años de extensión es muy reducido, lo que limita enormemente la posibilidad de establecer cuál es el significado de los estadísticos usados para caracterizar las variaciones climáticas a largo plazo.

Como se muestra en la Figura 23, la ganancia de crecimiento de los anillos datados de 1972 a 2010 oscila entre 0.30 mm y 0.69 mm, con una media de 0.5 mm, se observa que la mayoría de los valores no la rebasan y se mantienen entre los 0.35 mm y 0.49 mm, en donde durante 23 años la ganancia en el crecimiento fue favorable, pues se encuentran los puntos cercanos o por arriba de la media del crecimiento y 27 años, en donde la ganancia no rebasó el valor medio, habiendo poco crecimiento respecto al año anterior.

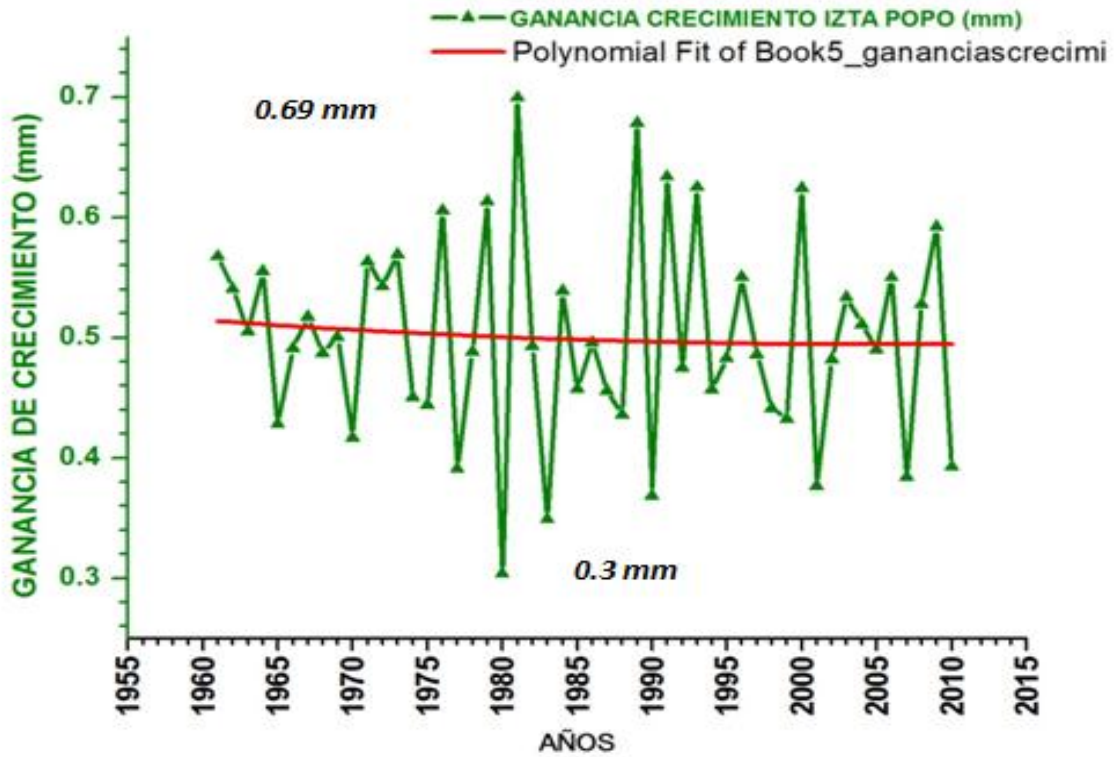


Figura 23. Ganancia de crecimiento en anillos de Oyamel colectados en Izta Popo a partir de 1961 al 2012

El Cuadro 5 nos muestra el ajuste polinomial de la curva de las Ganancia de Crecimiento en Izta Popo, mostrando un valor de probabilidad de 0.76, siendo mayor que 0.05 por lo que no existe un modelo que se ajuste a los datos.

Cuadro 5. Ajuste del Polinomio de las Ganancias de Crecimiento Izta Popo

Polynomial Fit (02/10/2014 23:58:24)

Notes

Input Data

Parameters

		Value	Standard Error
gananciascrecimi	Intercept	41.80955	257.75198
	B1	-0.04122	0.25964
	B2	1.02829E-5	6.53847E-5

Statistics

	gananciascrecimi
Number of Points	50
Degrees of Freedom	47
Residual Sum of Squares	0.34814
Adj. R-Square	-0.03729

Summary

	Intercept		B1		B2		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Value	Error	
gananciascrecimi	41.80955	257.75198	-0.04122	0.25964	1.02829E-5	6.53847E-5	-0.03729

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
gananciascrecimi	Model	2	0.00177	8.8313E-4	0.11922	0.88788
	Error	47	0.34814	0.00741		
	Total	49	0.34991			

#### 8.4 Registros Climáticos del SMN (Servicio Meteorológico Nacional) de por lo menos 30 años atrás en el Parque Nacional Izta Popo valores promedios.

De los registros promedio de temperaturas máximas anuales (°C) y precipitaciones medias anuales (mm) se determinó que en el bosque de Izta Popo existen tres periodos, (Fig. 24). En el periodo “A” de 1962 a 1979, sólo para los años 1965, 1966, 1967, 1968, 1972 y 1974 la precipitación rebaza a la temperatura y en los demás años la temperatura se mantiene por arriba de la precipitación. El intervalo registrado fue de 20.4 °C a 20.8°C y la precipitación oscilo entre los 800 mm a 1300 mm respectivamente, en un transcurso de 18 años.

El periodo “B” de 1980 al 2000, la temperatura siempre se mantiene por arriba de la precipitación exceptuando los años 1984 y 1991. En el periodo B, el comportamiento en la amplitud de temperaturas máximas anuales (°C) y precipitaciones medias anuales (mm) fue





más abierto, de 16.4 a 22.6 y la precipitación oscilo de 250 a 1600 mm, en un transcurso de 20 años.

Por último en “C” de 2001 al 2010, sólo para los años 2001, 2002, 2004 y 2006 la precipitación rebaza a la temperatura (Cuadro 6). En el periodo C, el comportamiento en la amplitud de temperaturas máximas anuales (°C) y precipitaciones medias anuales (mm) fue más amplio que los dos periodos anteriores, de 20.6 a 23.2 y la precipitación oscilo de 250 a 1250 mm, en un transcurso de 10 años.

**Cuadro 6. Periodos de 1962 a 2010 de precipitación y temperatura, mostrando el tipo de relación que presentan**

Periodo	Rango	Número de Años	Años con Relación directa	Años con Relación inversa
A	1962 a 1979	18	9 (50%)	9 (50%)
B	1980 a 2002	21	9 (42.85%)	12 (57.14%)
C	2001 a 2010	10	4 (40%)	6 (60%)

De manera general se puede concluir que de los 49 años de datos climáticos, el 55.10% mantienen una relación inversa y 44.84% una relación directa, siendo la temperatura la variable que se mantiene la mayoría de los años por arriba de la precipitación y que continúa en aumento como se observa en los años finales de la figura 24.

Mientras que el valor obtenido del grado de asociación entre las variables fue de -0.2467, existiendo una correlación negativa. Los resultados obtenidos en este trabajo comparten conducta similar a los publicado por Martínez, (2008) en relación a la temperatura dominante con respecto a la precipitación a la frecuencia.

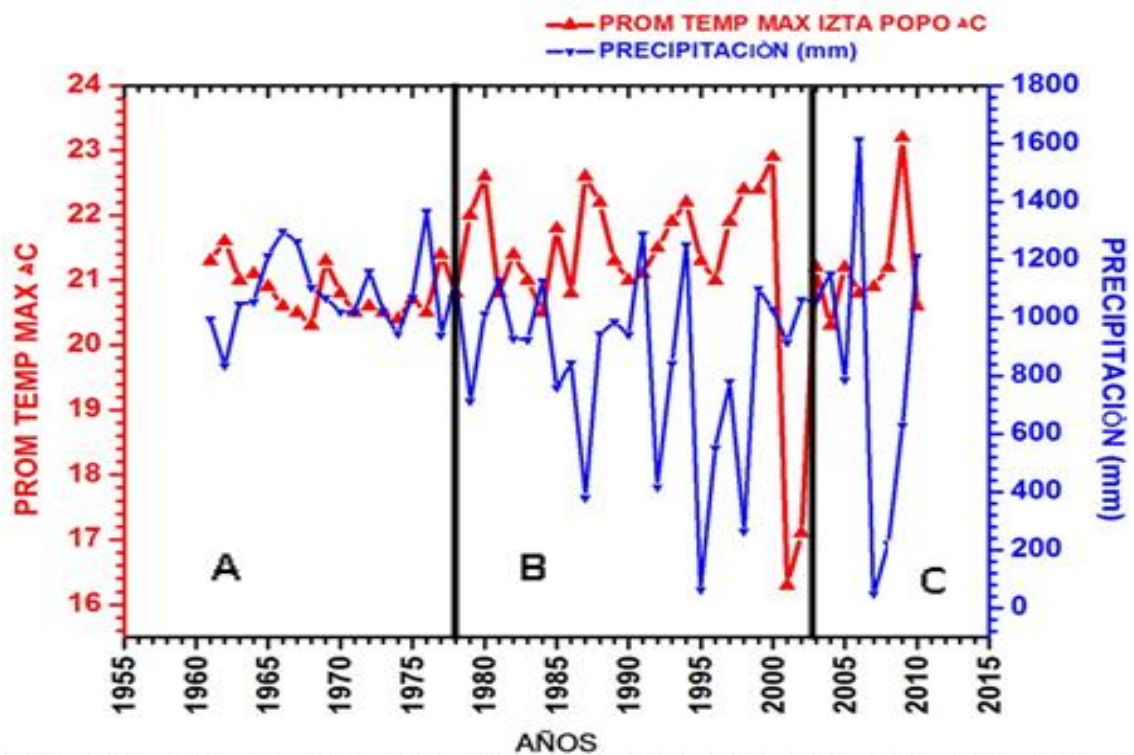


Figura 24. Variaciones de temperaturas máximas anuales (°C) y precipitaciones medias anuales (mm) en el Parque Nacional Izta Popo de 1962 a 2010.

Es de destacar que la amplitud del intervalo de la temperatura y la precipitación son muestra irrefutable del cambio climático regional y de que los árboles tendrán que adaptarse a situaciones extremas, cuando la tasa de evaporación se incrementa por el aumento de la temperatura y de la radiación, concentrada por  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_3$ , y aerosoles.

Los bosques en estudio tiene la característica de ser húmedos y templados, la evaporación del agua y la apertura de los estomas están determinados en ciclos de 24 horas, los registros de precipitación y temperatura muestran lo inestable de la evapotranspiración, afectando la transpiración de la cubierta vegetal y la retención del agua en el suelo y su almacenaje en los troncos del oyamel.

### 8.4.1 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de *Abies religiosa* y valores promedio de Temperatura

La Figura 25 relaciona la ganancia de crecimiento de *Abies religiosa* en Izta Popo de 1962 al 2010 con el promedio de temperaturas máximas tomadas de las estaciones meteorológicas San Rafael y Amecameca.

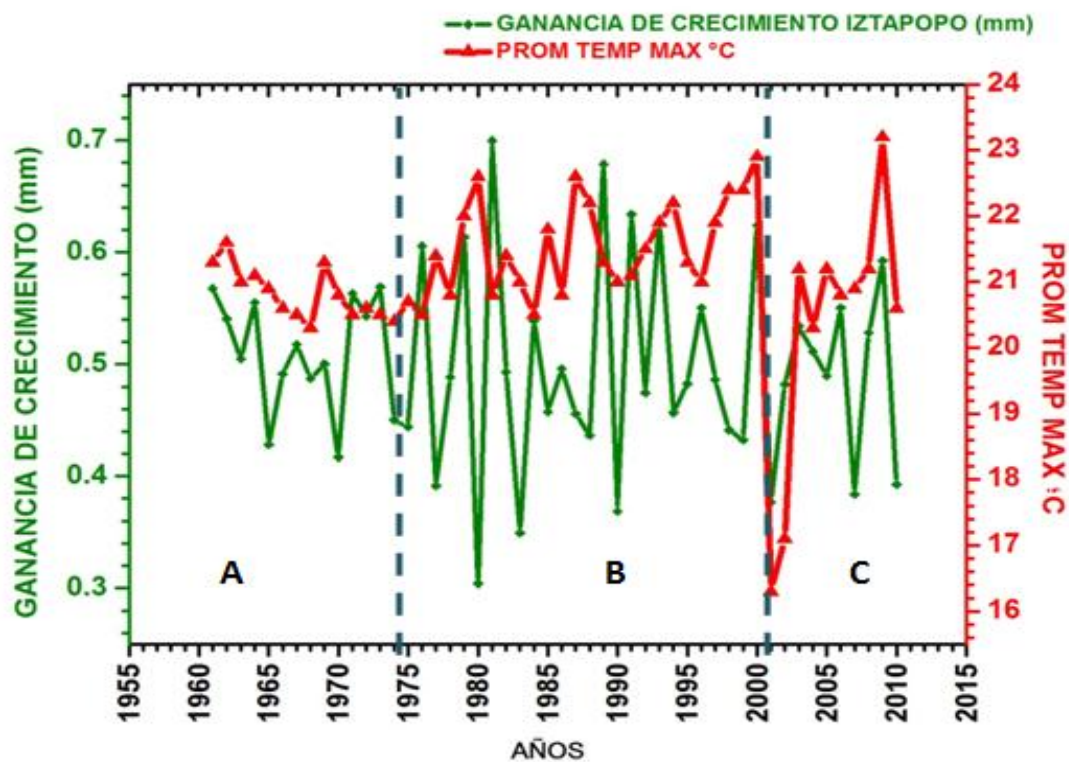


Figura 25. Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los arboles de Oyamel y Temperatura máx. Izta Popo

El Doctor Vicente Barro, quien dirigió el proyecto de “Inventario de gases de efecto invernadero y estudios de vulnerabilidad y mitigación frente al cambio climático en la Argentina” sostiene que en el último siglo en el periodo de los setentas, la temperatura ha venido en aumento. En la Figura 24, se distinguen varios periodos:



**Cuadro 7. Periodos de 1962 a 2010 de temperatura máx. y ganancia de crecimiento mostrando el tipo de relación que presentan**

Periodo	Rango	Temperatura máx. (°C)	Ganancia de Crecimiento (mm)	Años de relación inversa	Años de relación directa
<b>A</b>	1962 a 1974	20-21	0.5	6	7
<b>B</b>	1975 a 2001	21-23	0.49	19	8
<b>C</b>	2002 a 2010	16-23	0.49	6	3

De manera general se puede concluir que de los 49 años de datos registrados, 31 muestran una relación inversa y 18 una relación directa. Mientras que el valor obtenido del grado de asociación entre las variables fue de 0.1171, existiendo una correlación positiva.

Las sequías severas en la Cuenca del Valle de México corresponden a los años 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996. Se observa que a partir de los 70's, por efecto de la actividad del volcán Popocatepetl y las esporádicas del Volcán de Colima, las sequías recrudecieron y fue en aumento la temperatura en la región de la meseta central.

En éstos periodos de máximas cifras, sequías y temperatura, se observó que existieron más variaciones en las ganancias de crecimiento, principalmente en los bosques de Zoquiapan, Iztapopocatepetl y Desierto de los Leones, se percibió también que el uso de aerosoles se comportan de la mismo forma que los gases de efecto invernadero favoreciendo su acumulación y el aumento de las temperaturas máximas (Calva, 2012)

Por ende nuestros resultados nos permiten determinar que *Abies religiosa* disminuye su ganancia de crecimiento cuando la temperatura sobrepasa los 22°C y amplía la ganancia cuando la temperatura se mantiene por debajo de los 21°C.

#### 8.4.2 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de *Abies religiosa* y valores promedio de Precipitación

De manera simultánea se determinó un aumento en las ganancias de crecimiento con el incremento de las precipitaciones como se observan en la Figura 26.

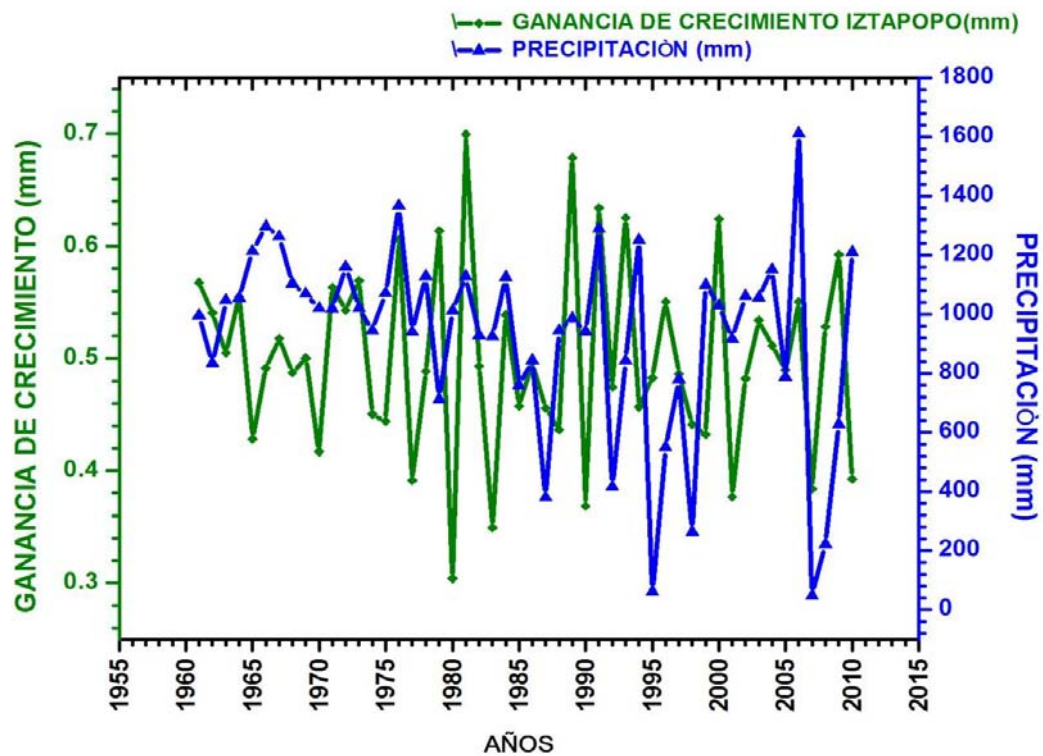


Figura 26. Relación entre la Ganancia de Crecimiento y total de Precipitación Izta Popo

Se determinó que la precipitación es buena ya que ronda por arriba de la media, que para esta zona es de 928mm anuales. La ganancia de crecimiento se muestra más proporcional en relación con la variable precipitación, así se puede advertir que existen 29 puntos de un total de 49 de toda la cronología donde las variables mantienen una relación directa y 20 años con una relación inversa.

Los resultados obtenidos comparten una relación con el trabajo para el Parque Nacional Pico de Tancítaro Michoacán (Cerano *et al.*, 2013), en donde la precipitación (500 mm a



2000 mm) se mantiene uniforme a la ganancia de crecimiento de *Abies religiosa* (0.8 mm – 1.5 mm), relacionándose de una forma proporcional. Sin embargo existe una mayor fluctuación en las ganancias de crecimiento y los registros de precipitación en el Parque Nacional Izta Popo que en Tancítaro Michoacán. Mientras que el valor obtenido del grado de asociación entre las variables fue de 0.1666, existiendo una correlación positiva.

### 8.5 Residuales de la Ganancia de Crecimiento

Los residuales de la Ganancia de Crecimiento nos indican si las condiciones ambientales en que se desarrolló el Oyamel fueron las adecuadas para que ganara grosor en sus anillos de crecimiento. Si los residuales son positivos indican que el anillo ganó anchura en el crecimiento con respecto al anillo anterior, en cambio, si los residuales indican un número negativo el árbol no habrá ganado o habrá ganando muy poco crecimiento, pudiendo haber sido menor el crecimiento respecto al año anterior.

La Figura 27, muestra los residuales de la Ganancia de Crecimiento de Izta Popo, donde se observan 29 puntos con residuales negativos, siendo el 58% de los años registrados en el cual los árboles de oyamel no rebasan su media de crecimiento y 21 puntos con residuales positivos siendo el 42% de los años registrados donde el crecimiento fue bueno y rebaso la media de crecimiento.

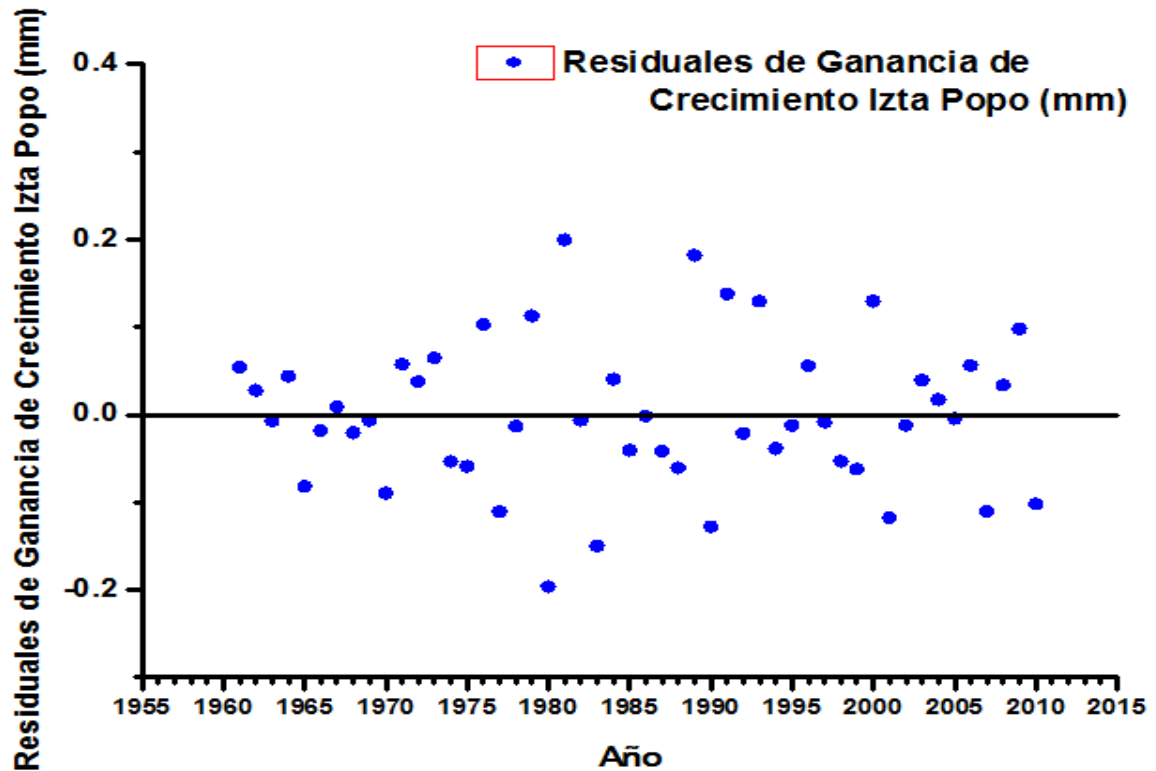


Figura 27. Residuales Parque Nacional Izta Popo.

## 8.6 Ganancia de Crecimiento El Chico

La Figura 28 muestra la Ganancia de Crecimiento para Mineral El Chico en donde se observa que de 1854 a 1950 la amplitud de los datos rondo los 0.41 mm y 0.55 mm, para los años posteriores a 1950 la ganancia de crecimiento empezó a mostrar una mayor fluctuación. Al igual que en la gráfica de ganancias de crecimiento del Izta Popo, para la estación Meteorológica Mineral El Chico sólo se tienen registrado datos a partir del año de 1980, por lo que a partir de esta fecha se empezó a empatar las ganancias de crecimiento.

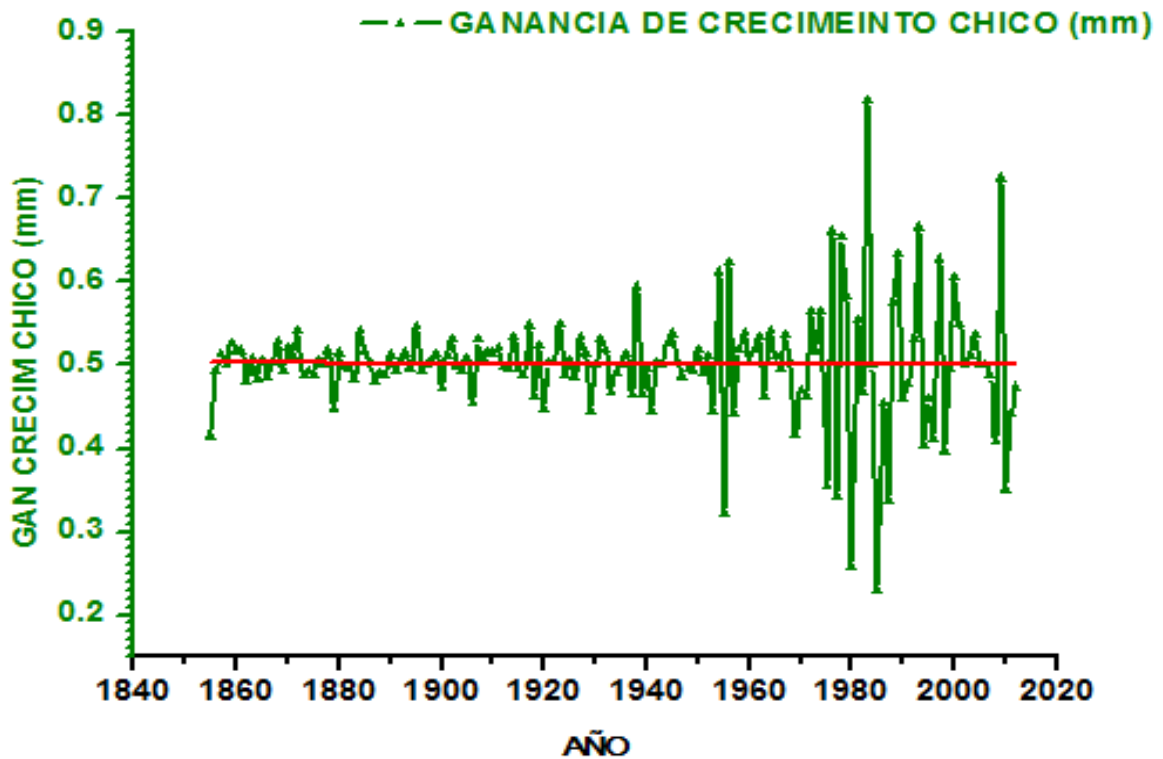


Figura 28. Ganancia de Crecimiento de El Chico de 1854 al 2012, la línea roja representa la media de 0.5018 mm.

La Figura 29 muestra las ganancias de crecimiento de Mineral El Chico, en la cual se puede observar que se tuvo variaciones en la oscilación del crecimiento, llegando la máxima en 1983 con 0.8179 mm y en 1993 con 0.8119 mm y con una mínima registrada de 1980 con 0.2566 mm, en 1985 con 0.1335 mm y en 1998 con 0.2745 mm, mostrando 14 años en donde la ganancia de crecimiento rebasa a la media y 17 años en donde la media no la rebasa.



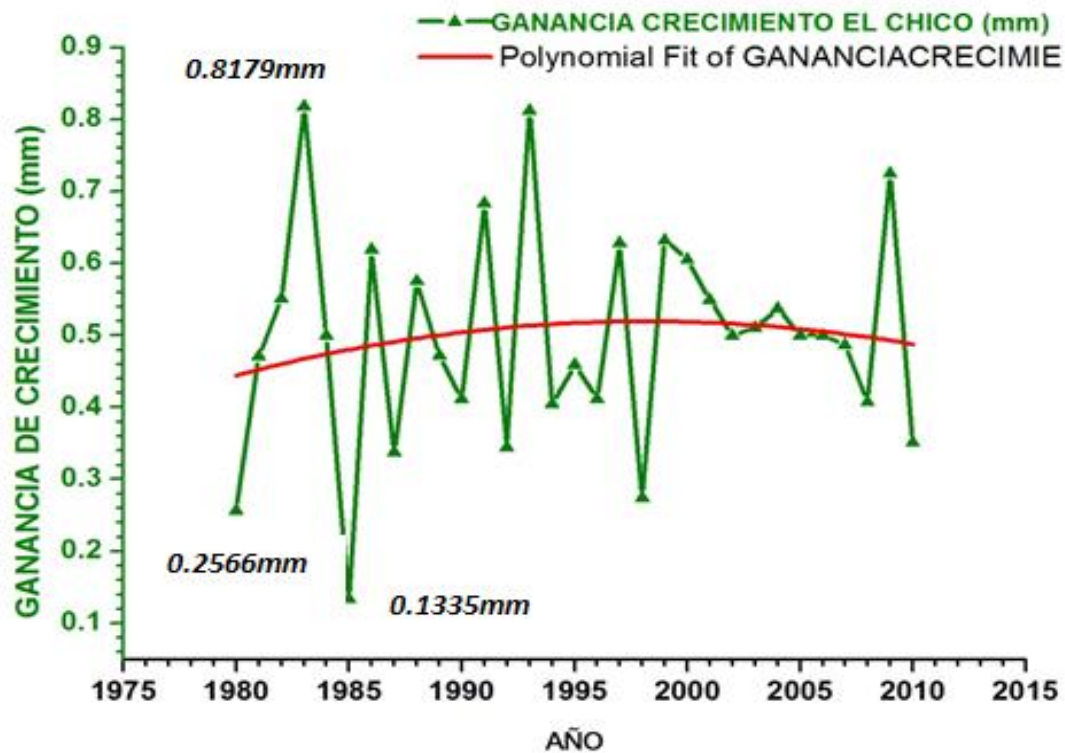


Figura 29. Ganancia de Crecimiento El Chico de 1980 al 2010

La amplitud de los intervalos de las ganancias de crecimiento durante década de los 80's fue amplia (0.13 mm - 0.8 mm) y esos registros constituyen los "falsos positivos" que convierten el polinomio convexo y no cóncavo como se ha reportado en la mayoría de los estudios. Esa es la razón por la cual se explica la baja correlación registrada (Cuadro 8), lo que en términos biológicos se tendrá que resolver de la siguiente manera.

- 1) Realizar una cronología maestra para la especie *Abies religiosa* con suficiente representación
- 2) Aumentar el número de árboles a 25 por cada rodal previamente ubicando los hábitat que no presente visualmente competencia intra e interespecífica.

- 3) Incluir las variables estrés por evaporación, humedad relativa, horas luz, precipitación y temperatura media en los diferentes ambientes de la República Mexicana.

**Cuadro 8 Ajuste del Polinomio de las Ganancias de Crecimiento El Chico**

Polynomial Fit (03/10/2014 00:29:43)

Notes

Input Data

Parameters

		Value	Standard Error
GANANCIACRECIMIE	Intercept	-903.64363	1576.45996
	B1	0.90498	1.58043
	B2	-2.26449E-4	3.96098E-4

Statistics

	GANANCIACRECIMIE
Number of Points	31
Degrees of Freedom	28
Residual Sum of Squares	0.69508
Adj. R-Square	-0.0513

Summary

	Intercept		B1		B2		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
GANANCIACRECIMIE	-903.64363	1576.45996	0.90498	1.58043	-2.26449E-4	3.96098E-4	-0.0513

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
GANANCIACRECIMIE	Model	2	0.01331	0.00665	0.26801	0.76684
	Error	28	0.69508	0.02482		
	Total	30	0.70839			

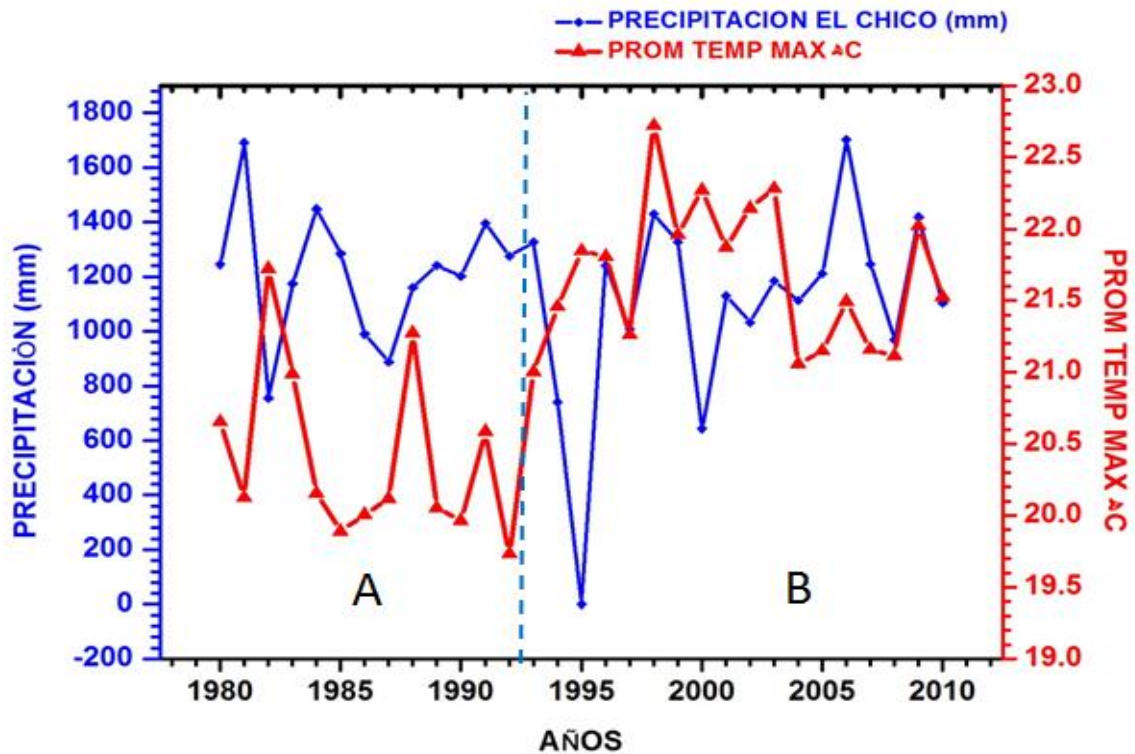
## 8.7 Registros Climáticos del SMN (Servicio Meteorológico Nacional) de por lo menos 30 años atrás en el Parque Nacional El Chico Hidalgo valores promedios.

Valores promedio reales de temperaturas máximas ( $^{\circ}$  C) y precipitaciones medias (mm) en la estación meteorológica Mineral del Chico Hidalgo (Fig. 30), se observan en dos periodos, de 1981 a 1994 (A) y de 1995 al 2010 (B). En el periodo A se observa que solo para los años 1982 y 1994 la temperatura rebaza la precipitación. En B, a temperatura rebaza a la precipitación para los años 1998, 2000, 2001, 2002 y 2003 (Cuadro 9)

**Cuadro 9. Periodos de 1981 a 2010 de precipitación y temperatura, mostrando el tipo de relación que presentan**

Periodo	Rango	Número de Años	Años con Relación directa	Años con Relación inversa
A	1981 a 1994	14	6 (42.85%)	8 (57.14%)
B	1995 a 2010	16	10 (62.5%)	6 (37.5%)

De manera general se puede concluir que de los 30 años de datos climáticos, el 46.66% mantienen una relación inversa y un 53.33% una relación directa, siendo la temperatura la variable que se mantiene casi siempre por arriba de la precipitación y que continua en aumento como se observa en los años finales de la gráfica. Mientras que el valor obtenido del grado de asociación entre las variables fue de -0.23, existiendo una correlación negativa.



**Figura 30. Variaciones de Temperatura (°C) y Precipitación (mm) en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo de 1980 a 2010.**

### 8.7.1 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de *Abies religiosa* y valores promedio de Temperaturas máximas en el Chico, Hidalgo, de 1980 a 2010.

La Figura 31 relaciona la ganancia de crecimiento de *Abies religiosa* en El Chico de 1980 al 2010 con el promedio de temperaturas máximas tomadas de la estación meteorológica Mineral del Chico.

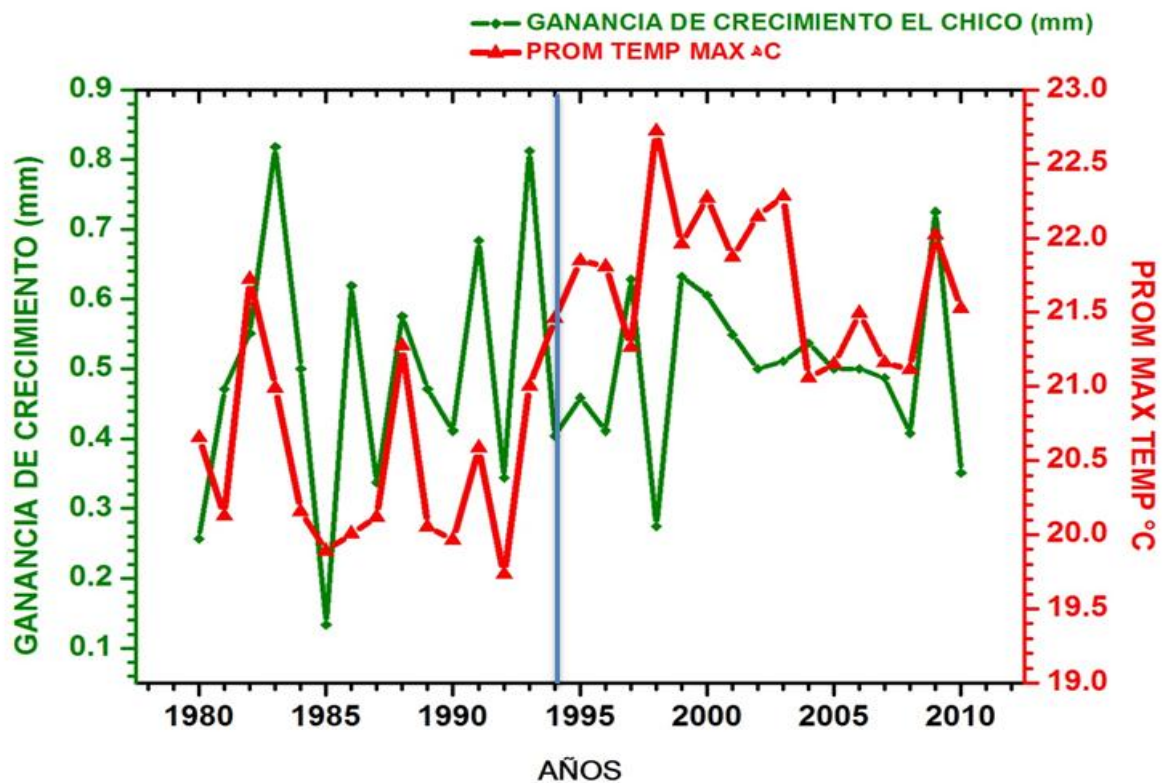


Figura 31. Relación entre la Ganancia de Crecimiento y Temperatura máx. El Chico

Hay un periodo comprendido de 1981 a 1994 en donde la temperatura se mantiene por debajo de la ganancia de crecimiento a excepción de los años 1980, 1982 y 1985, en los cuales la temperatura apenas la sobrepasa (Cuadro 10)



**Cuadro 10. Periodos de 1962 a 2010 de temperatura máx. y ganancia de crecimiento mostrando el tipo de relación que presentan**

Periodo	Rango	Temperatura máx. (°C)	Ganancia de Crecimiento (mm)	Años de relación inversa	Años de relación directa
A	1981 a 1994	19-21	0.5	7	4
B	1995 a 2010	21-22	0.49	10	9

Concluyendo que la Ganancia de Crecimiento en Mineral El Chico actúa con respecto a la temperatura de forma inversa. Hasta el año de 1994 la temperatura no sobrepasaba los 21°C y a partir de 1995 la temperatura empezó a aumentar llegando la máxima en 1998 con 22.72°C trayendo consigo una disminución en la Ganancia de Crecimiento. Mientras que el valor obtenido del grado de asociación entre las variables fue de 0.20, existiendo una correlación positiva.

#### 8.7.2 Relación entre la Ganancia de Crecimiento de los anillos de *Abies religiosa* y valores promedio de precipitación.

La relación entre la precipitación y la ganancia de crecimiento al contrario que con lo que sucede en Izta Popo no se muestran tan proporcional. En la figura 32, 13 años mantienen una relación inversa con respecto a la ganancia de crecimiento, siendo el 43.33% y el 17 con una relación directa del 56.66%.

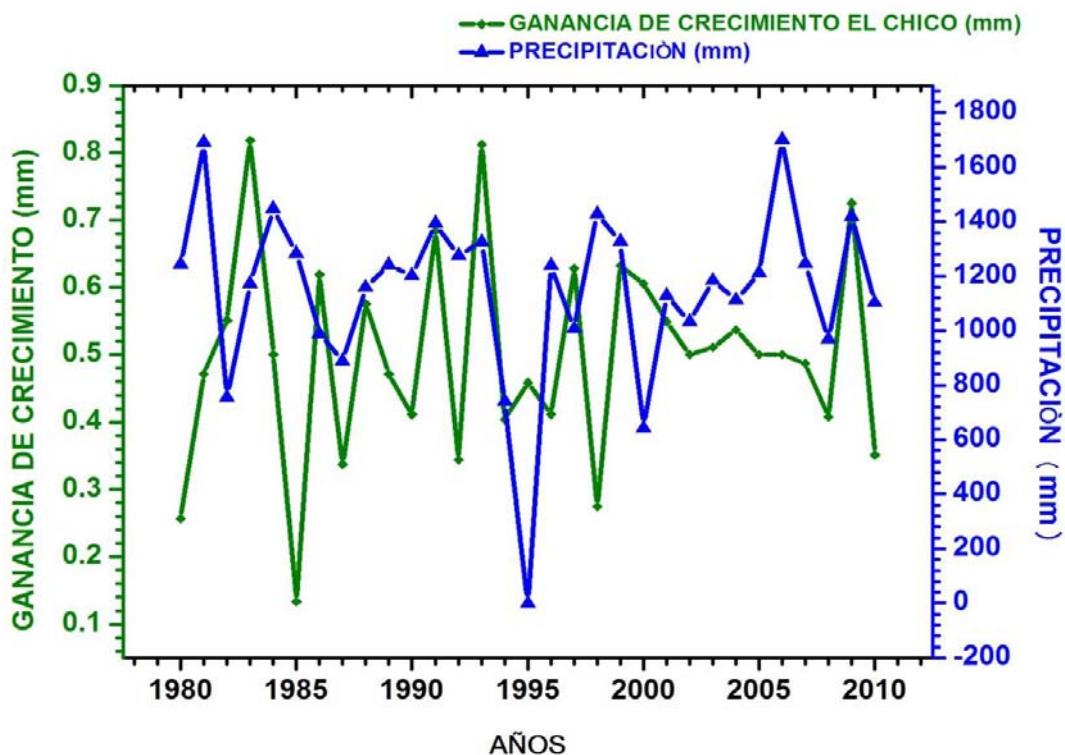


Figura 32. Relación entre la Ganancia de Crecimiento y el total de la Precipitación en el Chico.

Cabe mencionar que en 1995 la precipitación decae hasta 0 pues en los datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional para la estación Mineral del Chico Hidalgo este año se encontraba en ceros en todos los meses. Al mismo tiempo se observa una fluctuación de la precipitación que va de los 800 a los 1600 mm siendo buena para el crecimiento del oyamel a decir por las condiciones meteorológicas de la zona que van de los 1400 a los 1500 mm anuales. Mientras que el valor obtenido del grado de asociación entre las variables fue de 0.030, existiendo una correlación positiva.

### 8.8 Residuales de la Ganancia de Crecimiento del Chico

Lo que respecta a los residuales de la Ganancia de Crecimiento, en la figura 33, 14 años son residuales positivos siendo 45.16% de buen crecimiento y 17 años de residuales

negativos siendo el 54.83% en donde la Ganancia no rebasó su media del crecimiento de 0.5 mm.

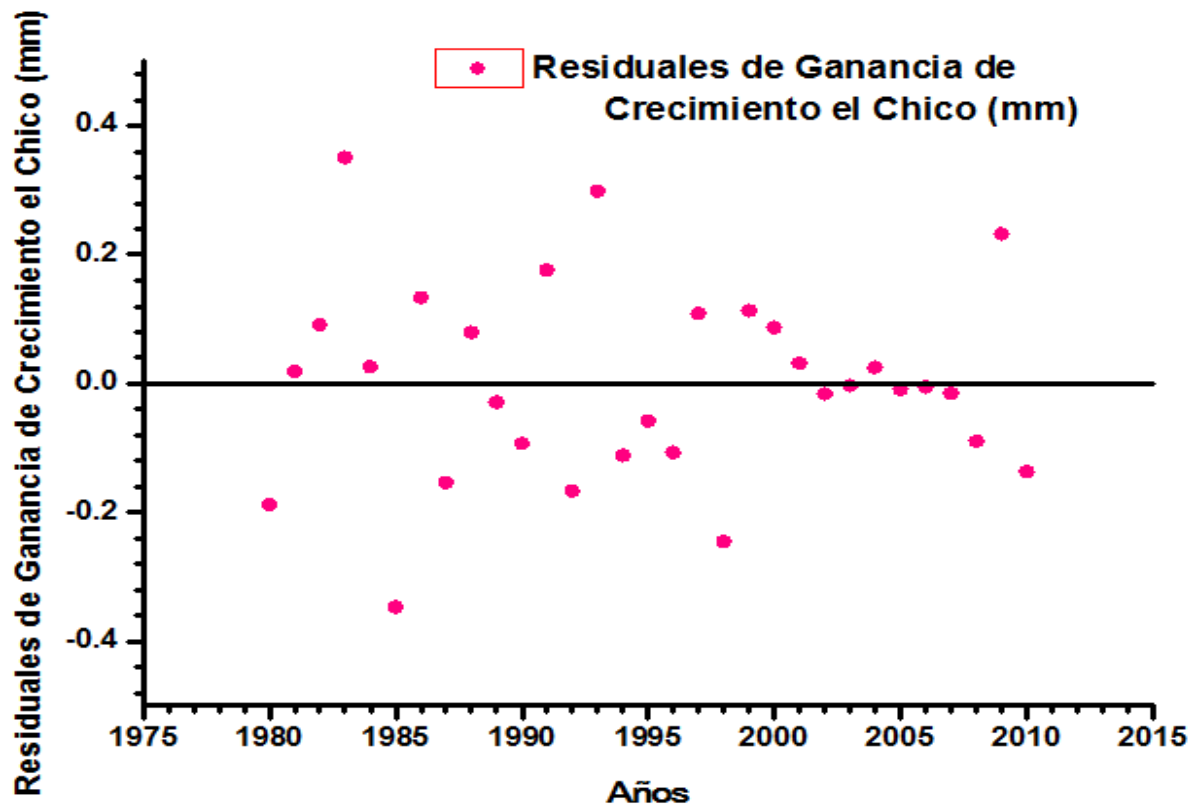
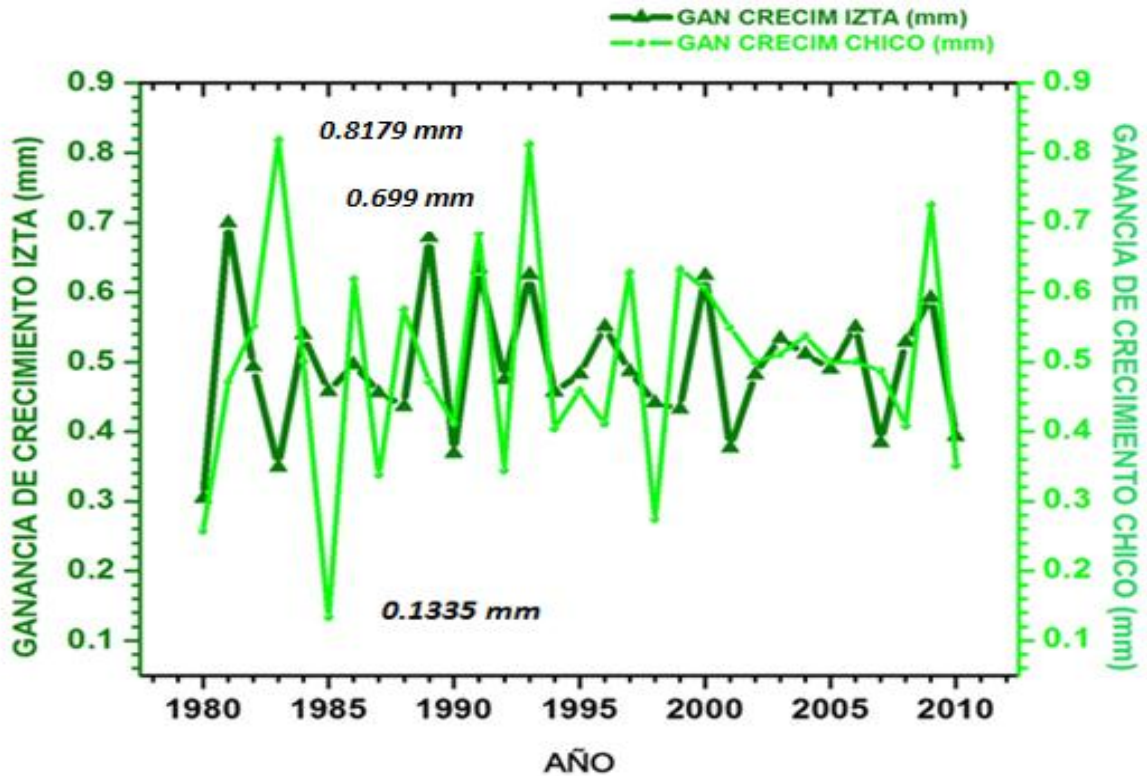


Figura 33. Residuales de la Ganancia de Crecimiento de EL Chico Hidalgo.

Analizando la gráfica de los residuales se determinó que la variable ganancia del crecimiento tendrá que ser tratada para remover el efecto exponencial, en esta situación lo más relevante es que la suma de cuadros (0.69964) y el error estándar

### 8.9 Relación entre las Ganancias de Crecimiento de Izta Popo y El Chico de 1980 al 2010

Al hacer la comparación de las Ganancias de Crecimiento de las dos zonas de estudio quedaría de la siguiente forma: (Fig. 34).



**Figura 34. Ganancias de Crecimiento de los Parques Nacionales Izta Popo y El Chico**

En términos generales se puede percibir que las ganancias de crecimiento tanto de Izta Popo como del Chico existen puntos de similitud, el ritmo que mantiene el crecimiento de las dos zonas van de la mano, mostrando una ganancia de crecimiento mayor en Mineral El Chico llegando la máxima a los 0.8 mm y para Izta Popo llega a los 0.699 mm.

Las ganancias se muestran más reducidas al comienzo de los años noventas, que, como Calva, (2012) lo menciona, en ese periodo se presenta un aumento en la polución de la Zona Metropolitana del Valle de México por el efecto de las emisiones de azufre, los grupos de hidrocarburos, el ozono, entre otros, causando un menor crecimiento en los boques de Oyamel.



## 8.10 Comparación múltiple de las medias de las Ganancias de Crecimiento del Parque Nacional Mineral El Chico (1) e Izta Popo (2).

Como se muestra en la Figura 35, las ganancias de Crecimiento en ambas zonas rondan los 0.4 mm y 0.6 mm en donde para Mineral el Chico el rango de amplitud de los datos es más amplio en comparación con Izta Popo por sus registros más amplios de crecimiento.

No existe diferencia estadísticamente significativa entre las ganancias de crecimiento de ambas zonas. Sin embargo para Izta Popo se presenta una mayor regularidad distributiva en el crecimiento, no así en relación al bosque del Chico en donde hay registros más amplios del crecimiento, el menor rango de crecimiento de Izta Popo puede atribuirse al hecho de que el bosque está expuesto de forma directa a los contaminantes emitidos por la Ciudad de México, los años en los que hubo erupción del volcán Popocatepetl que propiciaron una reducción en la anchura de los anillos.

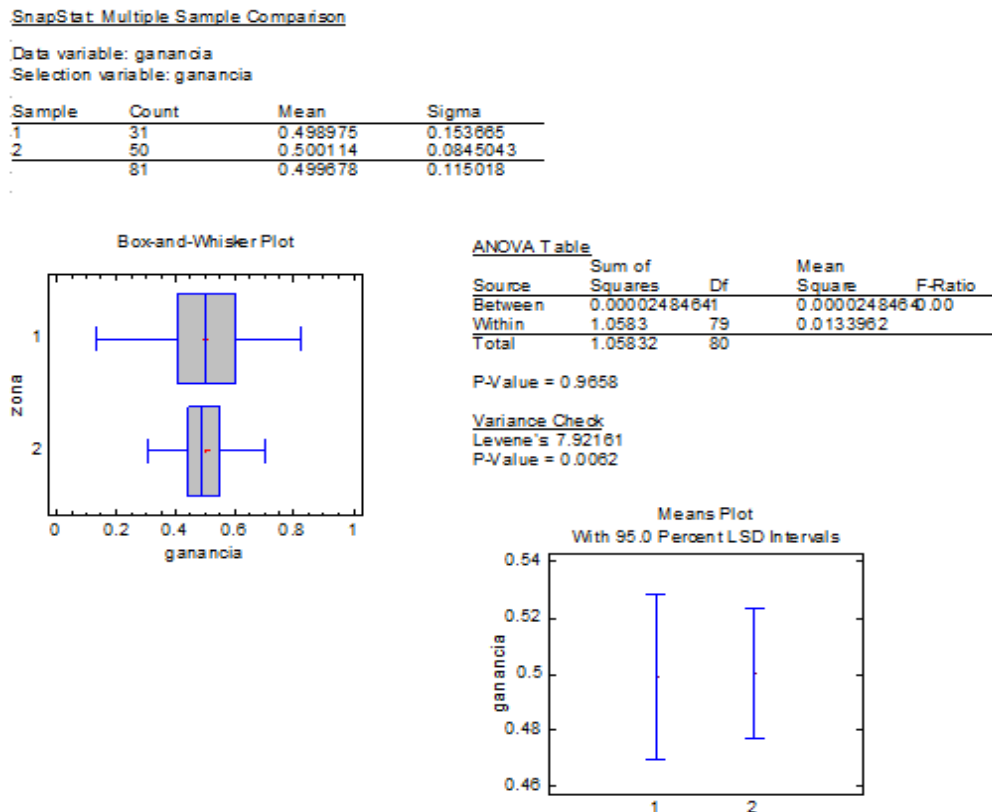


Figura 35. Comparación múltiple de las ganancias de crecimiento en El Chico (1) e Izta Popo (2).

## 8.11 Relación entre los promedios de Temperaturas Máximos en ambas zonas de estudio

En la figura 36 se relaciona las temperaturas de ambas zonas de estudio, de manera general se afirma que las temperaturas de Izta Popo se mantienen por arriba de las temperaturas de Mineral El Chico en 22 años y solo en 9 el Chico rebaza las temperaturas de Izta Popo. Se observa como a partir de los 90's las temperaturas en las dos zonas van en aumento, exceptuando para Izta Popo los años 2001 y 2002 donde decae hasta los 16° C, en los años subsecuentes aumenta llegando casi a los 23°C.

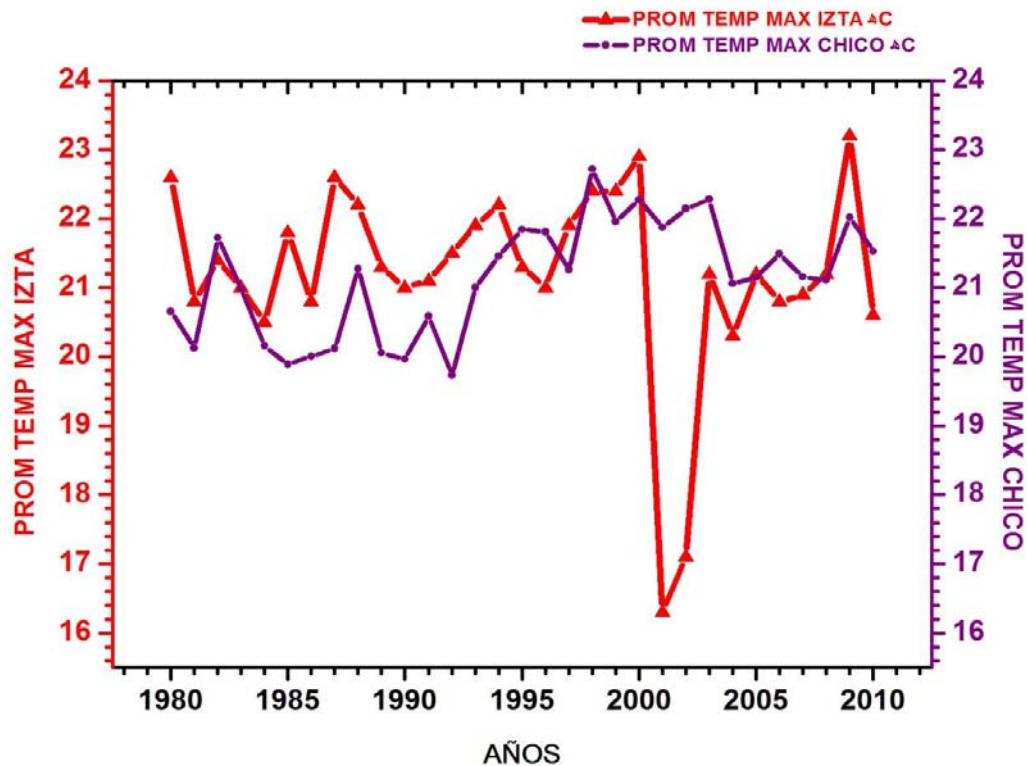


Figura 36. Relación entre los promedios de Temperaturas Máximos °C en ambas zonas de estudio

En tanto que para Mineral del Chico, Calva, (2012) realizó estudios afirmando que esta zona cuenta con un factor importante para explicar la elevada temperatura, siendo las

concentraciones elevadas de azufre e hidrocarburos (quemadores de gas que emana de la extracción de petróleo) emitidos por la refinería Tula, pudiendo así modificar el régimen de las precipitaciones y temperaturas, por efecto de la contaminación atmosférica, con el subsecuente aumento en la radiación.

## 8.12 Comparación múltiple de las medias de las temperaturas máximas del Parque Nacional Mineral El Chico (1) e Izta Popo (2).

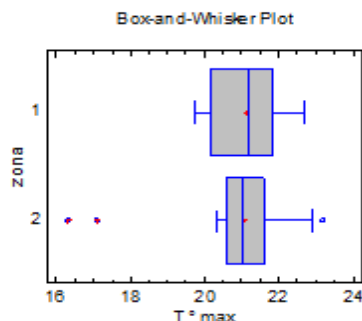
Como se muestra en la Figura 37, la temperatura máxima en ambas zonas ronda los 21°C, en donde para Mineral el Chico el rango de amplitud de los datos es más amplio en comparación con Izta Popo.

No existe diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas máximas de ambas zonas. Para Izta Popo se presentan temperaturas menos fluctuantes en relación con el Chico en donde hay registros más amplios de temperatura.

### SnapStat: Multiple Sample Comparison

Data variable: T° max  
Selection variable: T° max

Sample	Count	Mean	Sigma
1	31	21.1434	0.832605
2	50	21.084	1.15518
	81	21.1067	1.03834



### ANOVA Table

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio
Between	0.0674077	1	0.0674077	0.08
Within	88.1841	79	1.09094	
Total	88.2515	80		

P-Value = 0.8043

### Variance Check

Levene's 0.0442947  
P-Value = 0.8338

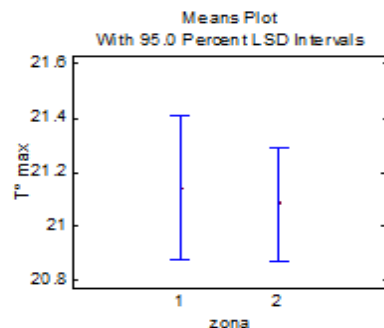


Figura 37. Comparación múltiple de las temperaturas máximas en El Chico (1) e Izta Popo (2).

### 8.13 Relación entre los promedios de Precipitación de ambas zonas

Como se observa en la figura 38, existe una relación directa en los datos de las precipitaciones de ambas zonas de estudio, no obstante los datos de Mineral El Chico indican que existe una mayor cantidad de precipitación a lo largo de toda la cronología, en contraste con Izta Popo cuyo registro más bajo llega hasta los 47.9 mm.

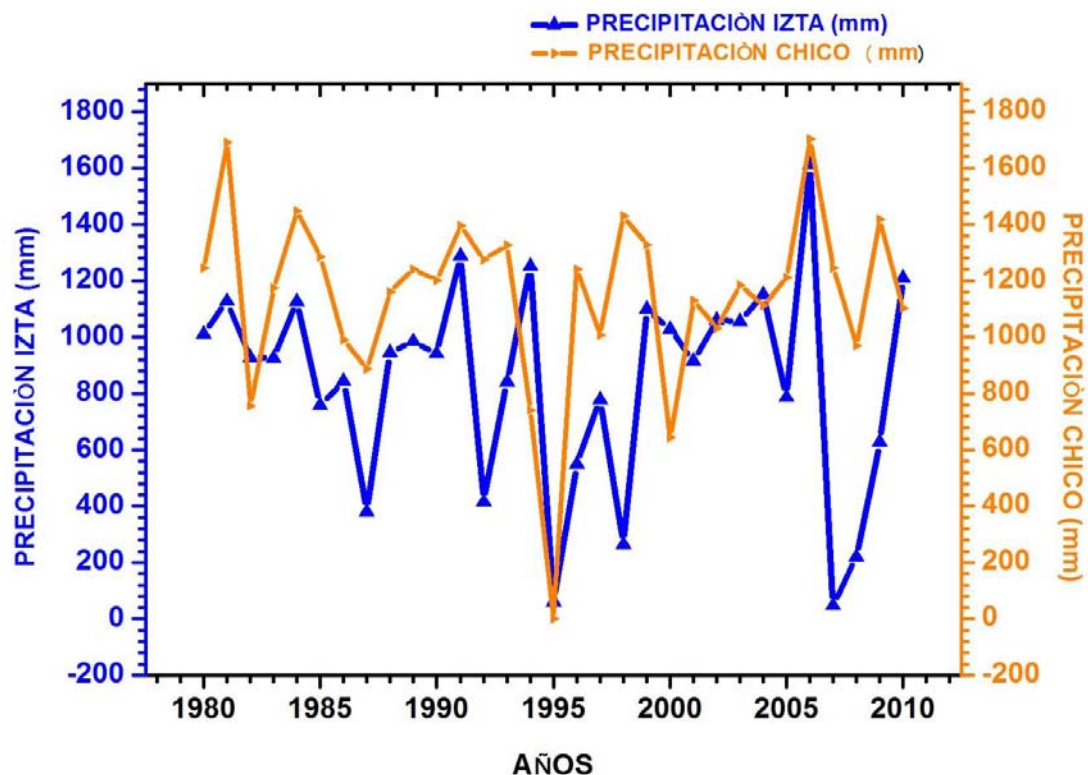


Figura 38. Relación entre los promedios de Precipitación (mm) en ambas zonas de estudio

### 8.14 Comparación múltiple de la Precipitación media anual del Parque Nacional Mineral El Chico (1) e Izta Popo (2).

Como se muestra en la Figura 39, la precipitación media en el Chico es mayor teniendo una media de 1185 mm anuales, en tanto para Izta Popo se mantiene en 900 mm anuales.

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la precipitación media en ambas zonas.

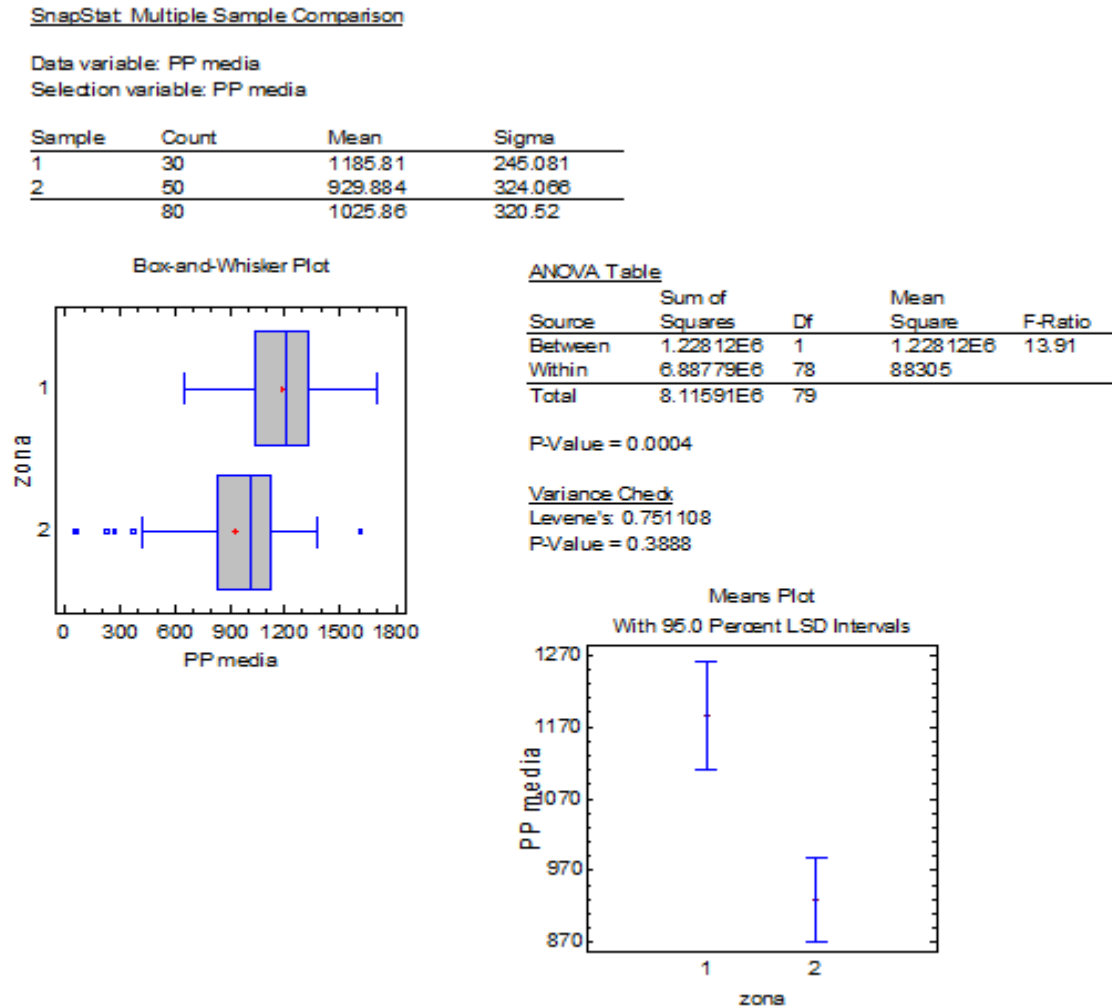


Figura 39. Comparación múltiple de las precipitaciones en El Chico (1) e Izta Popo (2).



## 8.15 Análisis de Correlación de la Ganancia de Crecimiento de ambas zonas vs Temperatura y Precipitación.

Ya que las variables conjuntas no muestran una relación estadísticamente significativa, se procedió a separar las variables para ambas zonas, quedando de la siguiente manera.

**Ganancia de Crecimiento Izta Popo vs Temperatura**

**Ganancia de Crecimiento Izta Popo vs Precipitación**

**Ganancia de Crecimiento Chico vs Temperatura**

**Ganancia de Crecimiento Chico vs Precipitación**

Al exportar la matriz de datos de Izta Popo Statgraphics Centurion, el Análisis de Correlación de Múltiples Variables quedo de la siguiente forma (Cuadro 11)

**Cuadro 11. Análisis de correlación de Múltiples Variables Izta Popo**

	TEMP MAX IZTA	PRECIP IZTA	GAN CRECIM IZTA
TEMP MAX IZTA		-0.2468 (50)	0.1171 (50)
PRECIP IZTA	-0.2468 (50)		0.1667 (50)
GAN CRECIM IZTA	0.1171 (50)	0.1667 (50)	
	0.0841	0.0841	0.4180 0.2474
	0.4180	0.2474	

En donde:

- El primer número de cada variable muestra la Correlación de Pearson al momento de obtener el producto entre cada par de variables. Estos coeficientes de correlación oscilan entre -1 y 1 y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables.
- El segundo número de cada variable se muestra en paréntesis indicando el tamaño de la muestra.



- El tercer número de cada variable muestra el valor de P, valor que pone a prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. P-valores por debajo de 0,05 no llegando a cero indican correlaciones estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95,0%. Y P-valores por arriba de 0,05 indican correlaciones no significativas al nivel de confianza del 95,0%.

Con respecto a la correlación entre la zona del Chico contra la precipitación y la temperatura quedaría de la siguiente forma (Cuadro 12)

**Cuadro 12. Análisis de correlación de Múltiples Variables El Chico**

	<b>TEMP MAX CHICO</b>	<b>PRECIP CHICO</b>	<b>GAN CRECIM CHICO</b>
<b>TEMP MAX CHICO</b>		-0.2356	0.2068
		(31)	(31)
		0.2020	<b>0.2642</b>
<b>PRECIP CHICO</b>	-0.2356		0.0304
	(31)		(31)
	0.2020		<b>0.8711</b>
<b>GAN CRECIM CHICO</b>	0.2068	0.0304	
	(31)	(31)	
	0.2642	0.8711	



## IX. CONCLUSIONES

- El comportamiento de las dimensiones de la anchura para los árboles de *Abies religiosa* muestra que los individuos estudiados en ambas zonas de estudio, siguen un patrón de crecimiento indeterminado, debido a la disponibilidad de agua y la temperatura máxima que modifican, en conjunto, la tasa fotosintética y el crecimiento en los árboles.
- La anchura de los anillos de *Abies religiosa* mostraron una tendencia a disminuir gradualmente con la edad desde la médula a la corteza. Sin embargo, a partir de la década de 1970, hubo una reducción significativa en el ancho del anillo anual. Esta modificación probablemente relacionada al estrés de las altas temperaturas, la rápida evaporación y la contaminación del aire que ocurre en niveles altos al suroeste de la Ciudad de México. Estas exposiciones crónicas de los árboles de *Abies religiosa* durante las últimas décadas pueden haber modificado diferentes caminos fisiológicos y vías bioquímicas, y sus efectos probablemente han cambiado la dimensión de la anchura de los anillos de crecimiento progresivamente.
- La ganancia de crecimiento del Parque Nacional Mineral El Chico muestra una variación en la anchura de los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* con valores de 0.13 mm a 0.81 mm, en tanto para el Parque Nacional Izta Popo muestra una menor anchura de los anillos de 0.30 mm a 0.6 mm, de esta forma se puede afirmar que las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidos los árboles del Chico son más adecuadas para que el oyamel se desarrolle, reflejándose en la anchura de los anillos, en contraste con Izta Popo.
- Con respecto a la temperatura en Izta Popo, aumento a partir de 1975 llegando la máxima en el año 2000 con 23°C, con lo que respecta al Chico, a partir de 1990 la temperatura ha venido en aumento llegando a los 23°C en el año 1998, lo cual repercute en la evaporación del agua que llega a la superficie del bosque por lo que los árboles no llegan a un rendimiento óptimo y generan un menor crecimiento, tal como se presenta en los residuales de la ganancia





de crecimiento de ambas zonas en donde los árboles de *Abies religiosa* no rebasaron su media de crecimiento de 0.5mm.

➤ Ambas zonas mostraron una relación inversa con respecto a la temperatura y directa respecto a la precipitación, marcando la sensibilidad de *Abies religiosa* a los cambios de precipitación, favoreciendo en la mayoría de los años su crecimiento, en cambio las temperaturas máximas (23<sup>a</sup>C) registradas en ambas zonas de estudio, tienden a interrumpir la actividad celular, actuando como inhibidores del crecimiento.

➤ El Análisis de Correlación Múltiple de la ganancia de crecimiento Izta versus ganancia de crecimiento Chico, muestra que existe una relación estadísticamente significativa, con un valor de  $p=0.96$ , lo cual nos dice que la media del crecimiento en ambas zonas no difiere (0.4 a 0.5 mm por año), ocurriendo lo mismo para la temperatura máxima Izta versus temperatura máxima Chico, en donde se tiene un valor de  $p= 0.8$ , cabe destacar que en Izta Popo existen valores más elevados de temperatura (casi tocando los 24<sup>a</sup>C), atribuyéndosele a la cercanía que presenta el Parque con la Ciudad de México, que propicia cambios en el régimen climático, lo que respecta a la precipitación media Izta versus precipitación media Chico, muestra que no hay una relación estadísticamente significativa en las dos zonas de estudio, marcando un valor de  $p= 0.0004$ , afirmando que existe una mayor cantidad de precipitación en El Chico por lo que *Abies religiosa* muestra un buen crecimiento (0.5 mm) en un periodo de años más corto que Izta Popo.

➤ La respuesta final de crecimiento de *Abies religiosa* depende no sólo de factores fisiológicos propios del árbol, sino también del depósito atmosférico, material particulado, hidrocarburos aromáticos y alifáticos, emisiones volcánicas, que en conjunto alteran la fotosíntesis y con ello las condiciones climáticas de los bosques.



## X. LITERATURA CITADA

- Ayerde, L. D. (1996). *Análisis de curvas de crecimiento de árboles y masas forestales*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo México. 251p.
- Bernal, S.S., Terrazas S.T. (2000). *Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en Abies religiosa*. Tesis Profesional. Colegio de Postgraduados. México.
- Biondi, F., Galindo, E. I., Gavilanes, R. J. C. and Elizalde, T. A. (2003). Tree growth response to the 1913 eruption of Volcán de Fuego de Colima, Mexico. *Quaternary Research* 59:293:299.
- Blank, K.W.; Roberts, T.M. and Skeffington, R. A. (1988). New perspective on forest decline. *NATURE*, 336 (3): 27-31.
- Bonneau, M. y Landmann, G. (1989). El deterioro de los bosques europeos. *Mundo científico* 88 (9): 190-205.
- Brandeis, J. T. (2009). *Diameter Growth of Subtropical Trees in Puerto Rico*. United States Department of Agriculture. Forest Service. Southern Research Station. 44p.
- Calva, G. (1999). *Monitoreo de la deposición acida en zonas boscosas de la Cuenca de México, usando como superficie de exposición la corteza arbórea de tres Pináceas*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 3-38.
- Calva, G. (2012). *Dendroquímica en estudios ecológicos y ambientales*. México: editorial académica española.
- Calvillo, C., Cornejo, E-H., Valencia, S. y Flores, C. (2005). Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Ciudad Hidalgo, Michoacán. México. *Foresta Veracruzana*, 7(1): 2-7.
- Cancino, J. (2006). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepcion, Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de manejo de bosques y medio ambiente. 171pp.



- Ceballos, A. B., Martínez, F.J. (2002). Dinámica de la humedad de las formaciones superficiales en unidades espaciales representativas de ecosistemas adherados *Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario*, ISSN 0214-1744, Vol. 16, Nº. 1-4, 2002 , págs. 33-42
- CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2014). Monitoreo Volcánico Popocatépetl. México. Tomado de:  
<http://www.cenapred.gob.mx/es/Instrumentacion/InstVolcanica/MVolcan/>
- Ciesla, W.M. (2002). *Invasive insects, pathogens and plants in Western and Pacific Island forests. Prepared for the Western Forestry Leadership Coalition. Fort Collins, CO, Forest Health Technology Enterprise Team, Forest Health Protection, USDA Forest Service.*  
Available at:  
[www.fs.fed.us/foresthealth/technology/publications/InvasivesOfWesternAndPacificForests.pdf](http://www.fs.fed.us/foresthealth/technology/publications/InvasivesOfWesternAndPacificForests.pdf)
- Clark, D. A. y Clark. D. B. (1999). Assessing the growth of tropical rain forest trees: Issues for forest modeling and management. *Ecological applications*. 9(3):981-997.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2005). *Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional EL Chico. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.* México. 236pp.
- Cook, E.R. and Briffa, K.R., (1990) *A comparison of some tree-ring standardization methods.* In: *Methods of Dendrochronology.* Eds. E.R. Cook and L.A. Kairiukstis, pp.104-123 Kluwer, Dordrecht. (keywords: tree ring statistics methodology evaluation)
- Cowan, I.R. (1978). *Water use in higher plants.* Australia Cambridge: Editorial McIntyre AK  
Water: planets, plants and people. pp. 71-107.



- Creus, J., Fernández, A. y Manrique, E. (1996). *Evolución de la temperatura y precipitaciones anuales desde el año 1400 en el sector central de la depresión del Ebro, Huesca*. Tesis Profesional.
- Cruz, A. R. (2007). *Dendrocronología y PIXE para la evaluación del crecimiento de pino influenciado por el cambio del régimen climático y la contaminación atmosférica en el Iztapopo*. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM. México D.F.
- Dave, Y.S. y Rao, K.S. (1982). Seasonal activity of the vascular cambium in *Gmelina arborea* Roxb. *IAWA Bulletin new series* 3(1): 59-65.
- Espinosa, M. (2006). *Evaluación del crecimiento de tres especies de árboles de navidad y análisis de sus costos de producción*. Tesis de Ingeniero en manejo de recursos forestales. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. México. 130p.
- Espinosa, M. y Muñoz F. (2000). *Silvicultura Aplicada*. Chile: Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Silvicultura. Apuntes de Clase. 129p.
- Flores, M. G., Jiménez, L. X., Madrigal, S. F. Moncayo, R. y Takaki, T. (1971). *Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana*. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D. F. 59 p
- Freeland, R.O. (1944). Apparent photosynthesis in some conifers during the winter. *Plant Physiol.* 19, 179-185.
- Fritz, H. C. (1965). *Tree-Ring characteristic along a vegetation gradient in northern Arizona*. Arizona: laboratory of Tree- Ring Research, The University of Arizona, Tucson, Arizona. Vol. 46, No. 4. 9pp.
- Fritz, H. C. (1976). *Tree rings and Climate*. Tucson, Arizona: Editions. Academic Press. U.S.A.U.S.A.: 2°ed.



- Gallegos, C. y López, J. (1993). Parque Nacional El Chico, marco geográfico-natural y propuesta de zonificación para su manejo operativo. *Investigaciones Geográficas del Instituto de Geografía, UNAM, número 28, México, 1994.65-128 pp.*
- García, E. (1973). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, México, D.F., UNAM.
- García, J. (2003). Design factors of horizontal flow constructed wetlands. In : *The Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in constructed Wetlands, 1st International Seminar. Dias V. y Vymazal J. (eds.), Instituto Nacional da Água, Lisbon, Portugal, pp. 497-520.*
- Génova, M., Fernández, A. y Creus, J. (1996). *Análisis Dendroclimático del crecimiento de Pinus silvestris y Pinus negra en la sierra de Guadarrama*. Tesis Profesional. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid.
- Gómez, G. R. (2003). *Estado del conocimiento de oyamel*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. México.
- Gourlay, I. D. (1995a). The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species - *A review. IAWA J. 16: 353-360*
- Gracia, C. (1978). *Ecología Forestal: Estructura, Funcionamiento y Producción de las masas forestales*, de:  
[http://www.ub.edu/ecologia/Carlos.Gracia/PublicacionesPDF/La\\_madera.pdf](http://www.ub.edu/ecologia/Carlos.Gracia/PublicacionesPDF/La_madera.pdf)
- Grissino-Mayer, H. (2003). *A Manual and Tutorial for the Proper Use of an Increment Borer*. Tennessee, USA: *Tree-Ring Research* 59(2): 63-79.
- Hernández, M. (1995). *Estudio florístico-fanerogámico del Parque Nacional El Chico*. Estado de Hidalgo: Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. México. 73 pp.



- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Imaña, J. y Encinas O. (2008). *Epidometría Forestal*. Universidad de Brasilia, Brasil: Departamento de ingeniería forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. 70 p.
- Jagels, R., Hornbeck, J. y Marden, S. (1994). Drought and cold stress-induced morphometric changes in tree rings of red spruce. *Technical Bulletin Maine Agricultural and Forest Experiment Station*. 19 p.
- Jauregui, O.E. (1988). *Local Wind and air pollution interaction in the Mexico basin atmósfera*- Mexico, D.F: Ecología Urbana,- 131- 140: Vol. 1.
- Jazcilevich, A.D., Garcia, A. R. y Castano, (2005). *Locally induced surface air confluence by complex terrain and its effects on air pollution in the valley of Mexico*. Atmospheric Environment Volume 39, Issue 30, September 2005, Page 5481-5489.
- Klepac, D. (1983). *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. México: Universidad Autónoma Chapingo. Segunda edición.. 385 p.
- Kuo, M., McGinness. Jr., E.A. (1973). Variation of anatomical structure of false rings in eastern redcedar. *Wood Sci*. 5, 205-210.
- Larson, P. R. (1994): *The Vascular Cambium*. Development and Strtletllre. Berlin: Springer-Verlag, Heidelberg New York, 725 pp.
- Lira, S.H.R. (1994). *Fisiología Vegetal*. México: Editorial Trillas.
- López, A. J. L., Valdez, H., Terrazas, T. y Valdez, L. (2006). Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia*. 40(1): 139-147.



- Louman, B., Valerio, J. y Jiménez, W. (2001). *Bases ecológicas*. In: B. Louman, D. Quirós y M. Nilsson (editores). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Serie Técnica. Manual Técnico No 46. CATIE. Costa Rica. pp:64-75.
- Madrigal, X. (1967). Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. Et Cham.) en el Valle de México. *Boletín Técnico No. 18*. INIF. México, D. F. 94 p.
- Manzanilla, H. (1974). *Investigaciones Epidométricas y Silvícola en bosques mexicanos de Abies religiosa*. México: Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAGAR. 165 pp.
- Manzano, M. F., J. I. Valdez H., M. Á. López L. y H. Vaquera H. (2010). Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*. 16(2):19-33.
- Medina, J.M. y Rzedowsky, J. (1981). Guía botánico-forestal de la parte alta de la Sierra de Pachuca. En: Guías Botánicas de Excursiones en México. *Sociedad Botánica de México*, (IV):1-19.
- Melo, C., López, J. (1993). *Parque Nacional El Chico, marco geográfico –natural propuesta de zonificación para su manejo operativo*. *Investigaciones Geográficas del Instituto de Geografía*. México, UNAM: número 28,65- 128pp.
- Meyer, B. S., Anderson, D.B., Bohning, R.H., and Fratianne, D.G. (1973). *Introduction to Plant Physiology*. Van Nostrand; Princeton: 2<sup>nd</sup> Edition.
- Mikola, P. (1962). *Temperature and tree growth near the northern timber line*. In Theodore T. Kozlowski. New York: Tree Growth. The Ronald Press Co.
- Parque Nacional IztaPopo (2013) tomado de: <http://iztapopo.conanp.gob.mx/flora.php>
- Perry, T.O. (1971). Winter-season photosynthesis and respiration by twigs and seedlings of deciduous and evergreen trees. *Forest Sci.* 17, 41-43.



- Peter, H., Raven, R., Evert, F. y Eichhorn, E. (1992). *Biología de las Plantas*. Barcelona: Editorial Reverte. 4ªed
- Petit, A. J. (2008). *Crecimiento*. Facultad de ciencias forestales y ambientales. Escuela técnica superior forestal de los ANDES Venezuela. Asignatura silvicultura.
- Pumijumnong, N. (2012). *Dendrochronology in Southeast Asia*. Springer-Verlag
- Roberts, T.M. (1987). *Effects of air pollution on agriculture and forestry, Acid Rain*: CEGB Research, 20: 39-52.
- Rzedowski, J. (2006). *Biodiversidad Mexicana*. Mexico: Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1ra. Ed.
- SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Fiscal y Alimentación. México. Tomado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/Paginas/default.aspx>.
- Schneider, S. Londer, R. (1984). *La coevolución de Clima y Vida*, Sierra Club Books; 05 1984
- Schulman, E. (1956). *Dendroclimatic changes in semiarid America*. University of Arizona Press, Tucson. 45 pp.
- Shortle, W.C., Smith, R., Minocha, V.A. (1995). Similar patterns of change in stemwood calcium concentration in red spruce and Siberian fir. *Journal of Biogeography* 22: 467-473.
- Slatyer, R.O. (1967). *Plant-Water Relationships*. Academic Press, New York.
- Thornley, J. (1999). Modelling Stem Height and Diameter Growth in Plants. *Annals of Botany* 84: 195-205.
- Tranquillini, W. (1964). The physiology of plants at high altitudes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15, 345-362.
- Trujillo, R. T. (1989). *Aspectos climáticos de la Cuenca del valle de México*. *Ecología Urbana*. México: Sociedad mexicana de historia natural,- Vols. 25-32.





- Uslar, Y. V., Mostacedo B. y Saldias. M. (2003). Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semideciduo en Santa Cruz, Bolivia. *Documento Técnico 114/2003. Chenomix International Inc. USAID/Bolivia. 28 p.*
- Vaganov, E.A. (1996). Cells of tree rings reflect the rise in air temperature during this century. *Biological Sciences 351: 582-584.*
- Villanueva D.J y Cerano P.J. (2004). Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. *INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Folleto técnico No. 2 Julio.*
- Villanueva, J. & McPherson, G. R. (1996). Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest 26: 45-54.*
- Villanueva, J., Cerano, D. W., Stahle, M. D., Therrell, L., Vázquez S., R. Morán M. & B. H. Luckman. (2006). Árboles viejos del centro-norte de México- importancia ecológica y paleoclimática. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico (20): 1-46.*
- Villanueva, J., Cerano, J., Stahle, D., Constante, V., Vázquez, L., Estrada, J. y Benavides J. D. (2010a). *Árboles longevos de México*, Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 1, núm. 2, p
- Weber, M. (1996). *Dendroecological reconstruction and interpretation of larch budmoth (Zeiraphera diniana) outbreaks in two central alpine valleys of Switzerland from 1470±1990.* Springer-Verlag
- Williams, L. G. (1996). Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques 2(2):53-65.*
- Worbes, M. (1995). How to measure growthdynamics in tropical trees: a review. *IAWAJournal. 351p.*



Zavala, F. (1995). *Encinos Hidalguenses*. México: División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 133 p.