



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios de Posgrado



BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
UNAM

**DINAMICA POBLACIONAL Y ANALISIS
DENDROCRONOLOGICO DE UNA ESPECIE DE
CONIFERA ENDEMICA, *Pinus lagunae* M. - F.
Passini DE BAJA CALIFORNIA SUR**

T E S I S
Que para obtener el grado Académico de
MAESTRA EN CIENCIAS
(ECOLOGIA Y CIENCIAS AMBIENTALES)
p r e s e n t a
SARA CECILIA DIAZ CASTRO

Director de Tesis: Dra. Laura Blanca Arriaga Cabrera

MEXICO, D. F.

1995

000226488

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	5
3. OBJETIVOS	13
4. DESCRIPCION DEL AREA	14
4.1 Ubicación	14
4.2 Fisiografía	14
4.3 Geología	16
4.4 Clima	16
4.5 Suelos	18
4.6 Vegetación	18
4.7 Estado de conservación	20
4.8 Situación taxonómica de <i>Pinus lagunae</i>	20
4.9 Descripción de la especie de <i>Pinus lagunae</i>	22
4.10 Descripción de las parcelas de estudio	23
5. ESTUDIO POBLACIONAL DE <i>Pinus lagunae</i>	25
5.1 Introducción	25
5.2 Metodología	28
5.3 Resultados	31
5.4 Discusión	47

6. ANALISIS CLIMATOLOGICO	51
6.1 Antecedentes	51
6.2 Metodología	53
6.3 Resultados	58
6.4 Discusión y conclusiones	67
7. ANALISIS DENDROCRONOLOGICO Y DENDROCLIMATOLOGICO	72
7.1 Introducción	72
7.2 Metodología	74
7.3. Resultados	79
7.4. Discusión y conclusiones	88
8. CONSIDERACIONES FINALES	91
9. LITERATURA CITADA	95
APENDICE I	104

*Gracias Dios mío por la linda familia que me diste, es a ella a
quien dedico este trabajo*

Mis hijos Lalin y Sayis

*y a mi querido marido,
fuente de entusiasmo y apoyo.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ampliamente al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

A la Dra. Laura Arriaga Cabrera por la formación y apoyo que me ha brindado al dirigir el presente trabajo.

Al Dr. Alfredo Ortega el cual como Director de la División de Biología Terrestre fomentó el convenio tomado, entre la Facultad de Ciencias de la UNAM y el CIBNOR mediante el cual pude realizar este posgrado.

Extiendo un reconocimiento especial al Biól. Cesar Salinas Zavala por la orientación dada en la parte del análisis climatológico, pero sobre todo por su amistad.

Al Dr. Thomas Swetnam y al Tree-Ring Laboratory, de la Universidad de Arizona por contribuir con asesoría y el programa estadístico que me ayudó a realizar el análisis de los datos para la obtención de la cronología maestra.

Al Centro de Ecología y en especial al Dr. Miguel Franco por permitirme realizar las mediciones de los anillos de crecimiento de los pinos.

Al Ing. Raymundo Domínguez y a los Técnicos Avelino Cota, Franco Cota, Miguel Domínguez y Marcos Acevedo por su invaluable ayuda en el trabajo de campo.

Al Biól. Daniel Lluch Cota por su colaboración en la parte del estudio dendrocronológico.

Al Dr. Miguel Franco y Dr. Emmanuel Rincón por participar como miembros del Comité Tutorial del programa de maestría y como miembros del jurado, al igual que al Dr. Daniel Lluch, Dr. Gerardo Segura, Dra. Elena Alvarez-Buylla, Dr. Miguel Martínez y al Dr. Sergio Hernández mi agradecimiento por la revisión y sus valiosos comentarios que enriquecieron el contenido de este trabajo.

A la Dra. Margarita Collazo Ortega por su ayuda invaluable en los trámites académicos y administrativos realizados en la UNAM.

A mis queridos amigos y asesores personales Sergio Alvarez y Aradit Castellanos por su incondicional y valiosa ayuda.

Finalmente quisiera agradecer a mis amigos y compañeros de grupo de la División de Biología Terrestre: Patricia Galina, Serafina Argüelles, Aurora Breceda, Rocío Coria, Enrique Troyo, Yolanda Maya, José Luis León y Carmen Mercado.

RESUMEN

En las partes elevadas de la Sierra de La Laguna de B.C.S., se localiza el único bosque de encino-pino del Estado. Es ahí donde se realizó el presente estudio, con la finalidad de analizar la estructura poblacional y demografía del pino endémico *Pinus lagunae* M-F. Passini; obtener una serie climatológica para las partes medias de la sierra; y basándose en esta especie de pino, se realizó un estudio dendroclimatológico que sirviera de base, por una parte, para hacer una reconstrucción climática para la zona y por otra, intentar obtener un modelo que permita efectuar predicciones climáticas. El trabajo se dividió en las siguientes partes:

1) Estudio poblacional de *P. lagunae*. Se encontró que con relación a la estructura de la población, con base en las distribuciones de frecuencias de altura, cobertura y área basal, la mayor frecuencia se da en los individuos de las categorías bajas, con disrupciones en las categorías de individuos de tallas medianas, siendo la altura máxima de 22 m y encontrándose individuos con edades superiores a los 150 años. Con relación a la demografía de la especie, en las curvas de sobrevivencia y de mortalidad, también se apreció la elevación de la tasa de mortalidad en los individuos de edades intermedias, atribuible posiblemente al efecto de factores naturales externos como son el ataque de insectos descortezadores y la incidencia de incendios en la zona. Finalmente el análisis volumétrico de la especie indica bajos volúmenes comerciales del pino lo que hace pensar que este bosque no es susceptible de sostener un aprovechamiento comercial, más bien debe ser protegido y estudiado más a fondo, sobre todo en la cuantificación de los factores debilitantes del pino antes mencionados.

2) Análisis climatológico. Consistió en la obtención de una serie climatológica a partir de la utilización de los datos de precipitación y temperatura, relacionados mediante el índice de aridez de Martonne, de las 9 estaciones meteorológicas más cercanas al bosque y que tuvieron más correlación entre sí. La serie obtenida abarca un periodo que va de 1948 a 1990, presenta en su conjunto una tendencia a la disminución de la aridez y una periodicidad de 3 ciclos fundamentales que son: 24, 12 y 8 años.

3) Análisis dendroclimatológico. A partir de las muestras de 120 pinos seleccionados, mediante técnicas dendrocronológicas se obtuvo la dendrocronología maestra de *P. lagunae* para la Sierra de La Laguna y al relacionarla con la serie climática se elaboró un modelo que sirvió para hacer la reconstrucción de la aridez hasta el año de 1804. En la verificación se aprecia que la serie recalculada muestra las tendencias interdecadas de la serie observada, más que las variaciones interanuales, así como también registra eventos climáticos extraordinarios. Por otra parte el periodograma efectuado con la serie reconstruida, da como resultado un gran número de componentes que no permiten construir un modelo de predicción climática a largo plazo.

ABSTRACT

The upper portion of Sierra de La Laguna in B.C.S. harbors the only oak-pine woodlands of the state. This study was carried out there. The endemic pine *Pinus lagunae* demography and its population structure were analysed. A climatological series for the midlands of la sierra was constructed. A dendrochronological study demonstrated that this pine species was useful to reconstruct the climate for this zone and it was intended try to obtain a model to predict the climate. In this way, the study was divided in three sections:

1) Pine population study of *P. lagunae*. According to the structure population, the higher frequency was for the individuals of low classes in high, cover and basal area frequencies distributions with disruptions in medium classes. This species reaches a maximum height of 22 m and its life expectancy has been estimated at more than 150 years. According to the demography of this species, the survival and mortality curve, showed an increased mortality rate for the intermediate ages individuals. This mortality may be produced by the joint effects of natural fires and the attack of insects present in the forest. The volumetric analysis showed that the trees have very low sizes and volumes in the stand, so that pine extraction in this forest is not justified economically. This population should be protected and further studies carried out to detect the damage of them.

2) Climatological analysis. A regional climatic series was obtained. It was based on the analysis of climatological recordings such as total monthly rainfall and monthly mean temperatures. These factors were relationed by means of the Martonne aridity index, with data obtained from the nine forest closer stations. The series obtained goes trough 1948 to 1990. A tendency to less aridity is observed with three fundamental frequency of 24, 12 and eight years.

3) Dendroclimatological analysis. From 120 pines selected, two increment cores were obtained from each tree. Dendrochronology procedures and techniques by means of analyzing radial growth, a *P. lagunae* master dendrochronology was obtained. The climatic series and the master dendrochronology were compared, resulting a model were the climatic reconstruction since 1804 was possible. Reconstructed series reflected sustained interdecadal trends like the last decades variations, which are also present in the meteorological records and reflects also some extraordinary climatological events. Climatic extended series was examined using Fourier analysis techniques but the great number of components did not allowed to construct a model to do climatic predictions.

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Características de los sitios de muestreo.
- Cuadro 2. Densidad de pinos en los diferentes sitios de muestreo.
- Cuadro 3. Ajustes para realizar la tabla de vida.
- Cuadro 4. Tabla de vida de *Pinus lagunae*.
- Cuadro 5. Registro de incendios.
- Cuadro 6. Tabla volumétrica.
- Cuadro 7. Estaciones meteorológicas de las inmediaciones al bosque de la Sierra de La Laguna.
- Cuadro 8. Valores extremos de aridez en las series climatológicas de las diferentes estaciones.
- Cuadro 9. Matriz de correlación.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización del bosque de encino-pino de la Sierra de La Laguna, B.C.S.
- Figura 2. Climograma de la estación meteorológica Sierra de La Laguna.
- Figura 3. Perfil esquemático de la ubicación altitudinal del bosque en la Sierra de La Laguna.
- Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo en el bosque de encino-pino.
- Figura 5a). Distribución de frecuencias relativas de alturas para cada sitio.
- Figura 5b). Distribución de las frecuencias relativas de cobertura.
- Figura 5c). Distribución de frecuencias relativas de áreas basales.
- Figura 6a). Distribución de frecuencias relativas de alturas para la población de *P. lagunae*.
- Figura 6b). Distribución de frecuencias relativas de coberturas para la población de *P. lagunae*.
- Figura 6c). Distribución de frecuencias relativas de áreas basales para la población de *P. lagunae*.
- Figura 7. Dispersión de los datos de la altura con la edad y su ajuste a una recta.
- Figura 8a). Curva de sobrevivencia para *P.lagunae*.
- Figura 8b) Curva de sobrevivencia para *P.lagunae*, con el eje de las ordenadas en escala log.
- Figura 9. Tasa de mortalidad de *P.lagunae*.
- Figura 10. Patrón de crecimiento radial mensual para individuos con un D.A.P. mayor de 55 cm y su ajuste a una función logística.
- Figura 11. Distribución de frecuencias de volúmenes de *P.lagunae* (n = 1734 pinos).
- Figura 12. Ubicación de las estaciones meteorológicas consultadas.
- Figura 13. Series de aridez para las estaciones: a) Caduaño; b), Los Divisaderos; c) Santa Gertrudis; d) Sierra de La Laguna; e) San Antonio; f) San Bartolo; g) Santiago; h) El Triunfo; i) Yeneca.
- Figura 14. Serie Climatológica
- Figura 15. Autocorrelación de la serie climática.

- Figura 16. Periodograma de la serie climatológica.
- Figura 17. Periodograma de la serie de precipitación.
- Figura 18. Periodograma de la serie de temperatura.
- Figura 19. Dendrocronología maestra.
- Figura 20. Regresión entre índice de aridez y cronología.
- Figura 21. Resultado del análisis de residuales.
- Figura 22. a) Verificación, b) Periodograma de las dos series (calculada y observada).
- Figura 23. Reconstrucción de la aridez.
- Figura 24. a) Anomalías de la serie climática; b) Periodograma de la serie reconstruida.

**DINAMICA POBLACIONAL Y ANALISIS DENDROCRONOLOGICO
DE UNA ESPECIE DE CONIFERA ENDEMICA,**



***Pinus lagunae* M.-F.Passini**

DE BAJA CALIFORNIA SUR

1. INTRODUCCION

Los bosques de coníferas son todas aquellas asociaciones vegetales donde se encuentran presentes árboles de hojas aciculares y escamosas como son, entre otros, los pinos, abetos y cipreses. Dentro de la riqueza forestal del mundo, las coníferas constituyen un importante recurso, debido a la demanda de su madera, facilidad de explotación, relativa rapidez de crecimiento de muchas de sus especies y por su extensa distribución (Rzedowski, 1978). Sin embargo, el valor de estos bosques no radica únicamente en su productividad, sino también en su importancia ecológica en su papel como protector de los recursos naturales asociados a ellos, como son la fauna, el suelo, el agua y su influencia en el clima (Gutiérrez, 1989). Aunque los árboles dominantes de estos bosques son perenifolios, también se encuentran frecuentemente asociados con especies deciduas. Por otra parte, debido a la poca luz que dejan pasar los árboles y a los suelos ácidos, se establecen relativamente pocas especies herbáceas y arbustivas (Fuller *et al.* 1972).

Los bosques de coníferas se desarrollan generalmente en las zonas de clima templado y frío del mundo, siendo su distribución más amplia localizada en el hemisferio boreal. De las coníferas, el género *Pinus* es el más grande e importante; incluye a 94 especies (Critchfield y Little, 1966) ampliamente distribuidas en el hemisferio norte, desde cerca de los límites de la vegetación arbórea en Norte América, Asia y Europa hasta los bosques subtropicales de la India, Filipinas, Centroamérica y Norte de Africa (Harlow y Harrar, 1950)

En México, el bosque de coníferas y encino cuenta con casi 25 millones de hectáreas que representan al rededor de la octava parte del territorio nacional (Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología, 1994). Este tipo de bosque presenta las siguientes características: se localiza en regiones con climas

semiáridos, semihúmedos y francamente húmedos; su distribución coincide a grandes rasgos con la de los elevados macizos montañosos; alberga una gran diversidad florística y ecológica.

De acuerdo con su extensión, los bosques más importantes son los de *Pinus*, *Pinus-Quercus*, *Juniperus* y los de *Abies*. Sin embargo, debido a la fuerte presión humana, la superficie cubierta por estos bosques ha ido disminuyendo considerablemente ya sea por los desmontes e incendios que se realizan con fines ganaderos, como por el avance de la agricultura y la extensa explotación, tanto de la industria maderera como de las fábricas de papel y de celulosa (Rzedowski, 1978). Pese a esto, según la Secretaría de Desarrollo Social y el Instituto Nacional de Ecología (1994), las perspectivas de México en el sector forestal son alentadoras, ya que además de contar con importantes recursos en pie, presenta condiciones naturales que permiten altas tasas de crecimiento de muchas especies con valor comercial.

Al noroeste de México, en la porción meridional de Baja California Sur se eleva un macizo montañoso denominado Sierra de La Laguna, en cuyas partes elevadas se presenta uno de los bosques de coníferas más exclusivos de México, por las características particulares que le dieron origen. El aislamiento geográfico de este bosque y su limitada extensión han permitido el mantenimiento del mismo en condiciones casi prístinas. Los bosques más próximos se encuentran a 800 km al norte en Baja California y a 500 km al este en el estado de Sinaloa. Este bosque alberga un gran número de especies de flora y fauna endémica; de hecho, la especie de conífera que domina al bosque es una especie endémica, *Pinus lagunae* M.-F. Passini. Así también, el bosque de encino-pino de la Sierra de La Laguna es de gran importancia para el desarrollo del estado, ya que en esta región es donde se concentran los mayores niveles de captación pluvial, sirviendo de fuente de recarga para los acuíferos que surten de agua al sur de la península que es donde se concentra la mayor parte de la población del estado (Arriaga y Ortega, 1988).

Dada la importancia que tienen los recursos naturales, la diversidad biológica del bosque y de otros ecosistemas de la Sierra de La Laguna y su necesidad de conservarlos, recientemente se le ha dado a la zona la protección legal mediante su inclusión como Reserva de la Biósfera (Diar. Ofc. Fed. 6-06-1994). Sin embargo, para conservar los recursos naturales, entendiendo por conservación del recurso utilizarlo racionalmente, protegerlo y fomentarlo, es necesario además de la protección legal, tener una idea más clara de la situación de las poblaciones de las especies dominantes que integran a las comunidades.

En el presente trabajo, se realiza un estudio poblacional de *P. lagunae*, tendiente a conocer la estructura por edades y tasas de sobrevivencia a edades específicas, que son parámetros demográficos que dan información acerca de la dinámica poblacional. Así por ejemplo, la estructura de edades de una población puede indicar si ha habido heterogeneidad temporal del reclutamiento de los individuos (Ricklefs, 1990). La tabla de vida es una manera de presentar información de este tipo resumidamente y una valoración dasonómica se presenta en la tabla volumétrica. El análisis de los resultados obtenidos en este estudio, así como su comparación con datos de otros bosques que están siendo sometidos a un aprovechamiento forestal, ayudará a definir los lineamientos de manejo de este recurso.

Por otro parte, ya que el clima es una de las variables ambientales más importantes que influye en los sistemas ecológicos (Bolin, 1980), para entender la dinámica de las poblaciones que constituyen al bosque, es indispensable conocer también las fluctuaciones y tendencias climáticas que lo afectan. El clima ha variado en la historia de la tierra, debido principalmente a fluctuaciones en la actividad solar, aunado a esto en los últimos 100 años ha habido un calentamiento global, siendo un resultado directo de actividades humanas (Gates, 1993). En este trabajo basado en registros climáticos de precipitación y temperatura de nueve estaciones meteorológicas de las partes medias y bajas la Sierra de La Laguna, se obtiene una

serie climática de referencia que muestra las tendencias climáticas generales para la región.

Pese a que los registros de las estaciones meteorológicas abarcan sólo unas décadas, se puede tener acceso a información climática pasada mediante métodos indirectos. Tal es el caso de los usados en los estudios dendrocronológicos. Ya que las coníferas son especies propicias por su forma de crecimiento y longevidad, para realizar estudios dendrocronológicos (LaMarche, 1982), se decidió realizar un estudio de este tipo en la Sierra de La Laguna, con *P. lagunae*.

Las técnicas dendrocronológicas relacionadas con el clima (dendroclimatológicas), involucran el análisis de los anillos de crecimiento del árbol y su correlación con la serie climática del lugar. Si la correlación de estos datos es alta, se pueden derivar funciones de respuesta y de transferencia que ayuden a efectuar reconstrucciones climáticas en un periodo mayor del que se tiene con las estaciones climatológicas, así como también establecer modelos de predicción del clima (Pittock y Cropper 1982), lo que puede ser de gran utilidad en la planeación de actividades productivas que se ven directamente afectadas por los cambios climáticos, como es el caso de la agricultura y de algunas pesquerías.

2. ANTECEDENTES

En las partes elevadas de la Sierra de La Laguna, se han realizado diversos estudios sobre aspectos florísticos (León de la Luz *et al.*, 1988; León de la Luz y Domínguez, 1989; León de la Luz y Coria, 1993) y sobre la comunidad vegetal en general (Arriaga y Ortega, 1988), donde se describen algunas de las características del único bosque de encino-pino en el estado. Asimismo, en otros estudios se analiza a la comunidad arbórea, tipificada por la asociación de los dominantes fisonómicos *Quercus devia* (encino negro) y *Pinus lagunae* (pino piñonero), existiendo algunos trabajos enfocados al análisis del aspecto forestal (Villa-Salas, 1968; Ffolliot *et al.*, 1992; Arriaga *et al.*, 1992 y 1994), y de la estructura del bosque y banco de semillas (Mercado, 1993). Por su parte, sobre el pino piñonero que es la especie que se analiza en este estudio, existen trabajos relativos a aspectos morfológicos (Robert-Passini, 1981; Passini y Pinel, 1985) y ecológicos (Passini y Pinel, 1989), sin embargo, dentro de este último aspecto, no existen estudios que evalúen las características poblacionales de la especie.

Los atributos de la población considerados en este trabajo son los que se ocupan de las relaciones numéricas (demografía) y los concernientes a la estructura poblacional. Las poblaciones han sido consideradas como unidades de estudio tanto en el campo de la ecología, como en de la genética, siendo los principales atributos que las identifican, el patrón espacial de distribución; la densidad, determinada por la natalidad y la mortalidad; y la estructura de la población (Krebs, 1978), que comprende la distribución por edades de los individuos que la componen. La natalidad se refiere al número de nuevos individuos reclutados por año a una población, la mortalidad es el número de muertes de individuos de una población en un determinado periodo de tiempo, generalmente un año, y puede ser aplicada al total de la población o a una clase de edad específica. Por su parte, la estructura de edades

de una población indica con frecuencia la heterogeneidad temporal del reclutamiento de los individuos. Asimismo, dentro de una población, la interacción de las variaciones genéticas con el ambiente resulta en evolución (Ricklefs, 1990).

Dentro de las técnicas demográficas utilizadas para analizar los atributos de una población están las tablas de vida. En un inicio, las tablas de vida fueron empleadas por las compañías de seguros en poblaciones humanas, pero a partir de los trabajos de Raymond Pearl con *Drosophila*, se han utilizado ampliamente en Biología (Pearl y Parker, 1921 citado por Odum, 1972). Las tablas de vida expresan las tasas o probabilidades promedio de sobrevivencia específica por edades que operan en una población, y son de gran utilidad para los forestales, ya que les ayuda a predecir los cambios en el volumen maderable (Harcombe, 1987). Para conocer el volumen maderable de un bosque se utilizan las tablas volumétricas (Santillán, 1986), que pueden ayudar a determinar si es posible sostener una industria forestal en un bosque determinado.

Es bien conocido el valor ornamental y económico de las coníferas, entre las que se encuentra el pino, que por su abundancia e importancia ecológica es la especie dominante en los bosques de coníferas del mundo (Fuller *et al.*, 1972). Debido sobre todo a su importancia comercial, la mayoría de los trabajos realizados con pinos se refieren a poblaciones cultivadas y sujetas a manejo (Tomas, 1980; Habeck, 1988; Vandendriessche, 1991). Los bosques de coníferas que no están siendo manejados de manera comercial son cada vez menos comunes, restringiéndose generalmente a las áreas federales como los parques o reservas nacionales (Habeck, 1988). Por su parte Franco y Silvertown (1990), mencionan que solo cerca del 10% de las 250 especies de la familia Pinaceae han sido estudiadas demográficamente y aunque este tipo de estudios no son los únicos que deben hacerse, si nos señala parte de lo que hace falta por estudiar.

Para entender mejor la situación demográfica de una población, hace falta tener una idea más clara del ambiente que la rodea, ya que los organismos no solo reciben su energía de la luz solar, sino que también deben tolerar las temperaturas extremas, la humedad, el tipo de suelo y otros factores físicos de su entorno (Ricklefs, 1990). Según Bolin (1980), el clima es la variable ambiental más importante que influye en los sistemas ecológicos, y para Begon *et al.* (1990) mucho de lo que vemos de la distribución de las especies representa fases en recuperación de cambios climáticos pasados. De acuerdo con eso, para tener un mejor conocimiento de la población de pinos de la Sierra de La Laguna, se hace necesario un análisis climatológico de la región.

Aunque en la Península de Baja California ya se han realizado estudios sobre algunos aspectos climatológicos, como la precipitación (Hastings y Turner, 1965; Leyva-Contreras *et al.*, 1988; Reyes-Coca y Rojo-Salazar, 1985; Rueda, 1983; Salinas-Zavala y Leyva-Contreras, 1989), la influencia de los ciclones (Latorre y Penilla, 1988), y de climatología en general (García y Mosiño, 1968; Hastings, 1964, Hastings y Humphrey, 1969; Salinas-Zavala *et al.*, 1988 y 1990), se ha visto la necesidad de tener mayor información climatológica para la Sierra de La Laguna, ya que a pesar de la importancia biológica que posee, en las partes elevadas no existen estaciones meteorológicas funcionando.

El clima está determinado a fin de cuentas por las radiaciones solares, que al calentar más los trópicos que los polos, establece un desbalance de temperaturas, originando vientos en la atmósfera y corrientes en el océano (Bartusiak, 1989). Es lógico de esperar que cambios que ocurran en el sol influirán en el clima terrestre. Uno de esos cambios son las manchas oscuras que aparecen en la superficie solar, asociadas con llamaradas y prominencias que resultan en un incremento de la radiación solar. El número de manchas solares alcanza un máximo cada 11 años y la polaridad magnética de las manchas solares se revierte cada 22 años (Gates, 1993).

Existen otros eventos cíclicos que se presentan tanto en el océano como en la atmósfera. El fenómeno conocido como El Niño (EN) está caracterizado por la presencia de una corriente oceánica eventualmente caliente en las costas de América, extendiéndose hacia el oeste a distancias extraordinarias a lo largo del ecuador, desde enero y persistiendo aproximadamente por tres meses (Pérez-Enríquez *et al.*, 1988).

La Oscilación del Sur [Southern Oscillation (SO)] es un evento atmosférico en el que se presentan intercambios de masas de aire entre los hemisferios oriental y occidental. Se encuentra centrado en latitudes tropicales y subtropicales ocasionando diferencias de presión (Trenberth, 1991).

Cuando se presentan estos dos fenómenos juntos, son referidos como ENSO y ocurren con una periodicidad de 2 a 7 años. Sus efectos se manifiestan en el Pacífico oriental como lluvias excesivas, mientras que en Indonesia, Australia, Sur de Africa y Norte de Brasil experimentan condiciones secas. Al mismo tiempo, cambios en las condiciones oceánicas tienen consecuencias desastrosas para las pesquerías de América del sur.

Además de la periodicidad de ciertos eventos climáticos, el clima ha cambiado en el pasado. Los registros fósiles y geológicos son evidencia de ello ya que la tierra como sistema global ha experimentado cambios mayores durante millones de años de evolución. Los cambios climáticos han ocurrido en el corto y largo plazo trayendo como consecuencia, de forma directa o indirecta, que algunas especies evolucionen mientras que otras se extingan (Lamb, 1977). En el último siglo, en general el mundo ha ido sufriendo un calentamiento y probablemente en el futuro se caliente a tasas sin precedente por el efecto de invernadero, resultado directo de la actividad industrial, destrucción de los bosques y la agricultura (Gates, 1993).

Por otra parte, se ha visto que el clima incide de manera directa en algunas pesquerías y dadas las condiciones geográficas de la Península de Baja California, el

clima que impera en tierra da indicios del clima presente en las regiones oceánicas adyacentes. Con tal motivo se pensó que elaborar un modelo de predicción climática, utilizando para ello registros climáticos terrestres, que tienen un rango más amplio que los del mar, ayudaría a optimizar y prevenir los esfuerzos de captura para años venideros. Sin embargo, aún los registros climáticos terrestres son insuficientes para la formulación de un modelo de predicción climática, ya que datan de tan solo unas décadas atrás. Afortunadamente existen diferentes métodos para obtener registros climáticos pasados indirectos, entre los que están la utilización de núcleos de hielo, sedimentos de lagos, análisis de corales y anillos arbóreos. De esa forma se puede ampliar el ámbito de datos climatológicos.

Por las características físicas del Estado de Baja California Sur, uno de los estudios más adecuados para obtener registros climáticos naturales son los estudios dendrocronológicos. Este tipo de estudios se basan en la capacidad que tienen ciertos árboles de responder como parte de sus procesos fisiológicos a factores ambientales dominantes que limitan su crecimiento y que varían año con año, manifestándose como diferencias de anchura y densidad en los anillos anuales de crecimiento (Norton y Ogden, 1987). De tal forma que si existe una buena correlación entre las medidas de los anillos y el clima que imperó durante su formación, puede efectuarse una reconstrucción climática (Fritts y Swetnam, 1989). De esta manera se amplía el rango de datos climáticos para la elaboración de un modelo de predicción.

La dendrocronología es una disciplina relativamente joven, considerándose como fundador al Dr. Andrew Ellicot Douglass quien empezó a realizar sus investigaciones en 1901, estableciendo los principios básicos de la dendrocronología utilizando árboles del área de Flagstaff, Arizona. Posteriormente organizó el Laboratory of Tree-Ring Research de Tucson, Arizona en 1937 (Webb, 1983 citado por Fritts y Swetnam, 1989).

Sin embargo el descubrimiento de que en los anillos de crecimiento de algunos árboles hay diferente tipo de información codificada, se dió simultaneamente en diferentes partes del mundo, con diferente grado de profundidad y aplicación, como se señala a continuación:

- En el oeste de América se inició en 1901 con A. Douglass, como se mencionó anteriormente, utilizándose la dendrocronología como indicador climático y en estudios arqueológicos (Robinson, 1990).
- En el oeste de Europa, la dendrocronología ha sido usada desde 1871 en forma más extensiva en estudios sobre el impacto de la contaminación industrial en el ambiente (Eckstein y Pilcher, 1990).
- La dendrocronología en el este de Europa y el territorio de lo que era la URSS empezó con la dendroclimatología en 1882 (Kairiukstis y Shiyatov, 1990).
- En el Hemisferio Sur, las investigaciones dendrocronológicas empezaron relativamente tarde, llevándose a cabo en los últimos 10-15 años (Norton, 1990).

Durante las últimas dos décadas las técnicas dendrocronológicas han sido usadas extensamente en diferentes regiones del mundo para realizar estudios de ecología forestal, reconstrucción climática, efecto de perturbaciones naturales (como incendios o plagas), efecto de perturbaciones antropogénicas y efecto del incremento de CO₂ en la atmósfera, entre otros.

En México los estudios dendrocronológicos se han realizado a partir del trabajo que Schulman efectuó en 1944 en Durango, con fines arqueológicos (Scott, 1966). A partir de entonces se han realizado diferentes tipos de estudios dendrocronológicos en la República Mexicana, pero de acuerdo con la gran cantidad de especies arbóreas

susceptibles de estudiarse dendrocronológicamente es sorprendente la escasez de estudios publicados sobre el tema (Rincón y Huante, 1989).

Al norte de la Península de Baja California, en los bosques de la Sierra de San Pedro Mártir se han llevado a cabo estudios dendrocronológicos, pero no así para la parte sur, siendo lo más cercano el trabajo efectuado por Rueda (1983) quien a partir de cronologías representativas de cuatro diferentes sitios (cronologías maestras) de Baja California obtiene una dendrocronología promedio. Dicha dendrocronología la utiliza para tratar de encontrar relación entre ella y los tres patrones de precipitación en los que divide a la península, hallando que existe una buena correlación únicamente con el patrón de precipitación que presenta la región norte de la península.

De acuerdo con los antecedentes señalados anteriormente, para abordar este estudio, el trabajo se ha dividido en tres partes principales y en cada una se plantean las siguientes interrogantes:

I. Estudio poblacional de *Pinus lagunae*.

- ¿Existen diferencias significativas entre las poblaciones locales de pino estudiadas en la Sierra de La Laguna ?
- ¿Cómo es su distribución por edades, altura, cobertura y área basal?
- ¿Qué clases de edad tienen una mayor mortalidad y cuál es la edad máxima que alcanza esta especie de pino?
- ¿Cual es el patrón de crecimiento mensual de los individuos adultos ?
- ¿Es posible sostener una industria forestal basada en la producción de madera de *P. lagunae*?

II. Análisis climatológico para la Sierra de La Laguna.

- ¿Existe diferencia significativa entre el clima que registran las estaciones meteorológicas ubicadas en las partes medias y altas, así como en ambas vertientes de la Sierra de La Laguna?
- ¿Es posible determinar una serie climatológica que represente esta área?
- De ser posible lo anterior, ¿presenta la serie alguna periodicidad que pueda relacionarse con algún fenómeno periódico?

III. Análisis dendrocronológico y dendroclimatológico.

- ¿Los pinos de la Sierra son lo suficientemente sensibles para registrar en sus anillos de crecimiento los cambios climatológicos interanuales como para que, con base en su análisis se pueda hacer una reconstrucción climática, y más aún obtener un modelo de predicción?

Con el presente estudio se pretende llenar el vacío de que actualmente existe en relación con las preguntas anteriores, y se realizarán aportaciones al conocimiento de la situación demográfica que guarda la población de pinos de la Sierra de La Laguna y su relación con el clima; además, el análisis climatológico podrá servir de apoyo a diversos estudios ecológicos que se realizan en esta zona.

3. OBJETIVOS

Los principales objetivos de este trabajo son:

1. Determinar si las poblaciones locales de *Pinus lagunae* presentan, estadísticamente hablando, diferencias significativas entre sí.
2. Describir la estructura de la población de *Pinus lagunae* así como algunas de sus características demográficas.
3. Estudiar el patrón de crecimiento durante 1990 para individuos adultos de esta población.
4. Determinar si es posible establecer un aprovechamiento comercial de la madera de los pinos de la Sierra de La Laguna.
5. Analizar los datos climatológicos de las estaciones meteorológicas de la región para obtener una serie climática representativa.
6. Detectar en la serie climática, su tendencia y la posible presencia de ciclos y sus periodicidades.
7. Realizar un estudio dendrocronológico, evaluando las cronologías de los anillos de crecimiento y de los datos climáticos.
8. Calibrar las series de tiempo de los anillos de crecimiento y de los datos climáticos para posteriormente verificar su capacidad de predicción de eventos climáticos pasados y futuros.

4. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación

El trabajo se realizó en la parte sur de la Península de Baja California, en una área conocida como la Región del Cabo, que se extiende desde el istmo de La Paz hasta Los Cabos, con cerca de 130 km de largo por 50 km de ancho (Brandegge, 1892); en esta zona se localiza un complejo montañoso llamado Sierra de La Laguna, en cuyas partes superiores, entre los 1800 y 2000 m.s.n.m. se establece el bosque de encino-pino que, de acuerdo con Villa-Salas (1968), cubre una área aproximada de 20,000 has. Este es el único bosque de coníferas de todo el estado y se ubica entre los 23° 21' y 23°42' de latitud norte y los 109°46' y los 110°10' de longitud oeste (Arriaga *et al.*, 1992) (Figura 1).

4.2 Fisiografía

La Sierra de La Laguna es una cordillera montañosa formada por 4 serranías que son: Sierra de La Victoria, Sierra de La Laguna, Sierra de San Lorenzo y Sierra de San Lázaro, siendo La Laguna, la montaña más alta de la Región del Cabo con 2,090 m.s.n.m. aproximadamente (Hammond, 1954). Según Morelos (1988), en este macizo montañoso se pueden distinguir tres subunidades fisiográficas: las laderas serranas altas, las laderas serranas bajas y las mesas.

La Sierra de La Laguna está orientada en sentido Norte-Sur y es atravesada por el Trópico de Cancer; presenta el parteaguas desplazado al oeste de la línea central de la Sierra, de tal forma que el drenaje se divide entre el Pacífico y el Golfo de California; está disectada perpendicularmente por 7 cañones, de los cuales 5 están en la pendiente del Golfo que es suave y tendida con valles profundos y estrechos,

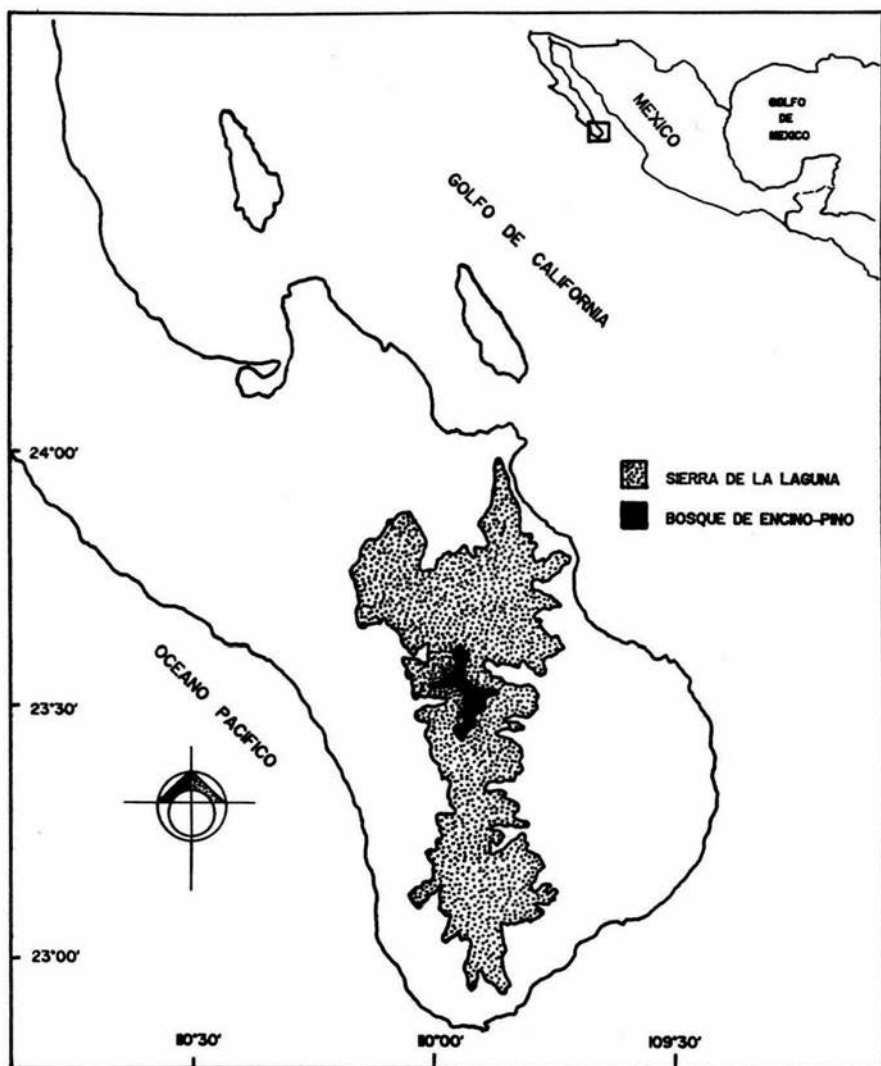


Figura 1. Localización del bosque de encino-pino en la Sierra de La Laguna de B.C.S.

mientras que la vertiente del Pacífico, es más pronunciada y presenta 2 cañones (Hammond, 1954).

4.3 Geología

La Región del Cabo, presenta una compleja historia geológica que involucra diversos procesos determinantes para la presencia de las especies en la zona. Originalmente estaba unida al continente, separándose en el Mioceno Medio, dando origen a un centro de endemismo. Después de hundimientos y surgimientos, la Región del Cabo se unió definitivamente a la Península durante el Pleistoceno, originando el plegamiento de la corteza terrestre que conformó su carácter montañoso, alcanzando su configuración actual (Padilla, *et al.*, 1988).

Los materiales rocosos de la geología superficial actual del macizo montañoso, consistentes principalmente de rocas intrusivas masivas y por granitos y sienitas, son probablemente parte de un batolito del Cretácico Superior o de la Era del Cretácico Inferior. La superficie geológica de la vertiente occidental está constituida por areniscas del Mioceno, mientras que en la región de las mesas está constituida por conglomerados, areniscas y esquistos compuestas de arena de granito y piedras incluidos en una matriz calcárea formada durante mediados del Plioceno (Hammond, 1954).

4.4 Clima

El clima de la Sierra de La Laguna varía en función de la altitud, distinguiéndose 3 zonas térmicas: una zona cálida, una semicálida y una templada (Coria, 1988). En las partes altas de la sierra se presenta un clima templado subhúmedo C(w)b(e) (García y Mosiño, 1968). De acuerdo con los registros de la estación meteorológica "Sierra

de la Laguna" que operó de forma intermitente por 21 años, es la zona de mayor precipitación del estado (Figura 2), con un total anual de 763.3 mm, una temperatura media anual de 14.7°C, la temperatura del mes más frío entre -3 y +18 °C y la temperatura del mes más caliente inferior a 22 °C (Coria, 1988). El régimen de lluvias se presenta principalmente en verano (de julio a octubre) y se ve fuertemente afectado por la incidencia de ciclones y tormentas tropicales que azotan la región; también, aunque en menor abundancia, se presentan lluvias en invierno llamadas localmente "equipatas".

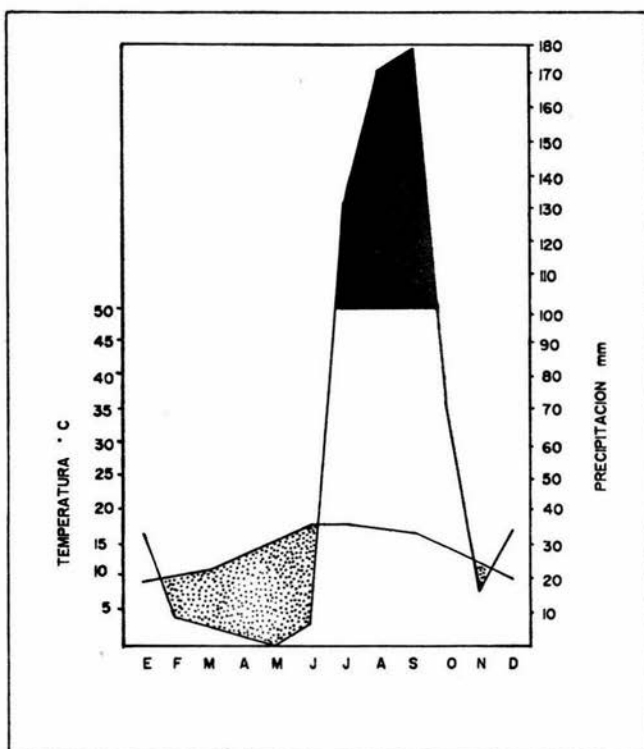


Figura 2. Climograma de la estación meteorológica Sierra de La Laguna (1983-1945). La zona achurada indica la época de secas y la zona sombreada la época en la que se presentan mayores niveles de precipitación.

4.5 Suelo

La Sierra de la Laguna es de naturaleza granítica y de acuerdo con Maya (1988), en las partes altas el suelo se encuentra dominado por cambisoles eútricos, suelo con suficiente grado de desarrollo que ha permitido la formación de varias capas y buena estructura; también este tipo de suelo se encuentra en asociación con feozem háplicos y cambisoles húmicos (Be + Hh + Bh / 1L); son suelos ricos en fósforo, moderados en potasio y calcio y bajos en magnesio. Presenta fase física lítica profunda y color oscuro en la capa superficial del suelo, debido al aporte de materia orgánica por parte de la vegetación. Tiene un horizonte "A" de 35 cm de profundidad, pH moderadamente ácido (5.6), un porcentaje de materia orgánica de 3.2 y la saturación de bases es alta.

4.6 Vegetación

A lo largo del gradiente altitudinal de la Sierra de La Laguna (Figura 3), se establecen al menos cuatro tipos de vegetación: matorral xerófilo, selva baja, bosque de encino y bosque de encino-pino (León de la Luz *et al.*, 1988; Morelos, 1988). Todas ellas pertenecientes a la Región del Cabo, que se encuentra rodeada por vegetación correspondiente al Desierto Sonorense (Shreve y Wiggins, 1964)

Las mayores elevaciones de la Sierra de La Laguna, albergan una comunidad boscosa aislada, cuyos componentes se relacionan estrechamente con la vegetación de Sinaloa y del Sur de California. Este bosque de encino-pino, está dominado por una especie endémica de pino, *Pinus lagunae* y por los encinos *Quercus devia* y en menor abundancia *Quercus tuberculata*. Asimismo, se encuentran otras especies de menor importancia como el madroño, también endémico, *Arbutus peninsularis* y el sotol *Nolina beldingii* (Arriaga, 1988).

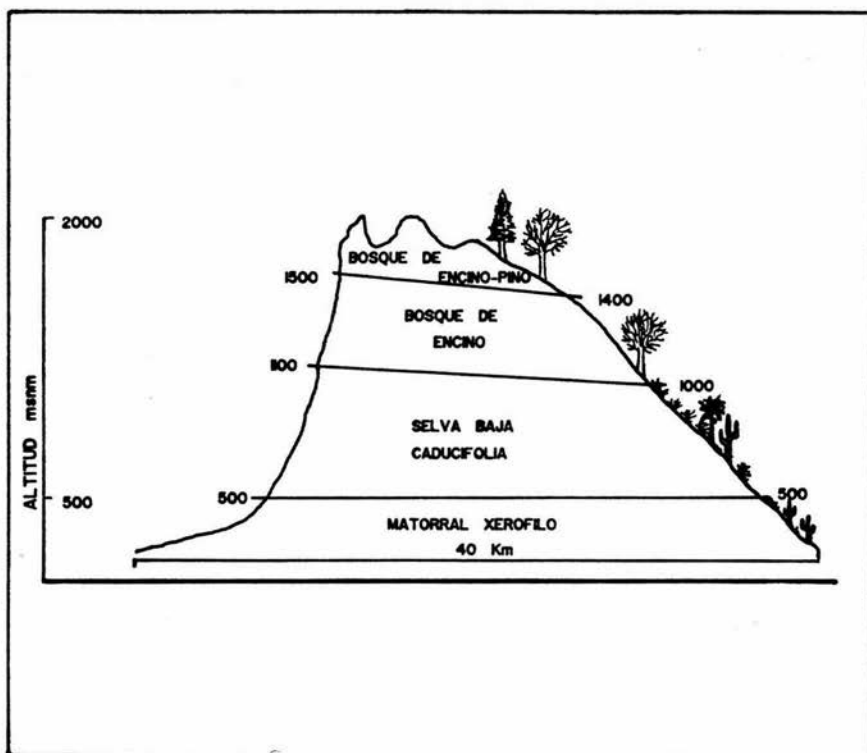


Figura 3. Perfil esquemático de la ubicación altitudinal de los diferentes tipos de vegetación en la Sierra de La Laguna (Modificado por León *et.al* 1988)

El estrato arbustivo está dominado por: *Calliandra peninsularis*, *Rumfordia connata*, *Lepechinia hastata*, *Helianthus similis*, *Heterotoma aurita*, *Verbesina pustulata*, *Hypericum peninsulare*; mientras que el estrato herbáceo está dominado por *Arracacia brandegeei*, *Desmodium prostratum*, *Stachys coccinea*, *Tagetes lacera*, *Oenothera tetraptera*, y *Verbena carolina* (León de la Luz y Domínguez-Cadena, 1989).

4.7 Estado de conservación

Las partes media y alta de la Sierra de La Laguna manifiestan características de insularidad, al encontrarse rodeados de un ambiente desértico, observándose gran cantidad de endemismos, tanto en flora como en fauna, aspectos que le confieren un gran atractivo para estudios ecológicos (Arriaga y Ortega, 1988). Las partes bajas de la Sierra, se encuentran perturbadas por acciones antropogénicas (Arriaga y Cancino, 1993 y Breceda, 1994), afortunadamente el difícil acceso a sus partes altas, ha permitido su conservación en forma integral, particularmente la de su flora y fauna, mismas que aún se encuentran bien preservadas.

Debido a las características particulares de la Sierra, desde hace varios años, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) ha tenido el interés de estudiar y conservar la Sierra de La Laguna, planteando en 1988 la propuesta para que esta zona fuese protegida legalmente bajo el régimen de Reserva de la Biosfera (Ortega *et al.*, 1988; Ortega y Arriaga, 1988; Breceda *et al.* 1991; Arriaga *et al.*, 1992; Arriaga, 1994). Afortunadamente después de someter a consideración esta propuesta frente a diferentes instancias públicas, tanto estatales como federales, se ha decretado esta región como una área natural protegida (Diar.Ofic.Fed. 6-06-1994)

4.8 Situación taxonómica de *Pinus lagunae*

La familia Pinaceae presenta cerca de 200 especies agrupadas en 9 géneros, caracterizándose las especies del género *Pinus*, por presentar hojas aciculares perennifolias, la mayoría en fascículos de 2 a 5; conos pendientes, con bracteas más cortas que las escamas de las semillas; maduran en 2 o 3 estaciones; por la naturaleza resinosa de su follaje, corteza y madera, presentan enemigos naturales como el fuego e insectos, tanto en etapa larval como adultos. El género *Pinus* consiste en más de 100 especies, de las cuales 39 están reconocidas en México (Martínez, 1948 citado por Mirov, 1967).

De acuerdo con la clasificación utilizada por Critchfield y Little (1966), el subgenero *Strobus* (Haploxylon) agrupa a los pinos suaves o blancos. Una de las secciones en que se divide este género es *Parrya* Mayr, dentro de la cual esta la subsección *Cembroides* Engelm.

La subsección *Cembroides* llamados comúnmente como los pinos piñoneros son árboles pequeños que están amplia y conspicuamente distribuidos desde el Sureste de Idaho, Estados Unidos de Norteamérica, hasta el estado de Puebla en México, siendo reconocidas 7 especies para México, de las que la especie característica de la subsección es el pino piñonero mexicano *Pinus cembroides* Zuuc. (Malusa, 1992).

P. cembroides es la especie más ampliamente distribuida de los pinos piñoneros que se localizan en climas semiáridos, ocupando casi siempre zonas de transición entre la vegetación xerófila de climas áridos y la boscosa de las montañas más húmedas, teniendo una área de distribución geográfica que se extiende por casi todo el norte y el centro del país, formando en general un bosque bajo y abierto (Rzedowski, 1978).

Entre los pinos piñoneros, *P. lagunae* se encuentra dentro de los límites altitudinales más bajos, localizándose a una altitud máxima de 1200 m.s.n.m. (Passini y Pinel, 1987), diferenciándose de los otros piñoneros por tener la semilla con cáscara más fina, un número más elevado de cotiledones y crecimiento más rápido (Pinel, 1985). *P. lagunae* estaba considerada como una variedad de *P. cembroides* siendo hasta 1987 cuando se le dió el estatus de especie por presentar las siguientes características:

- Morfológicas

Agujas más delgadas y esbeltas, el pedúnculo del cono más largo, mayor número de cotiledones (12.62) y el crecimiento de las plántulas es doblemente más rápido.

- Bioquímicas

La madera es más baja en α - pinene con 13.5% (mín. 10.6 y máx. 16.1%); alta en sabinene con 31.7% (14.5-45.7 %) y en terpinolene con 27.2% (19.6 -42.1%) (Zavarin y Snajberk citado por Passini, 1987).

A demás de esas características, la existencia en la Sierra de la Laguna de dos variedades de pino con diferencias en el grosor de la cáscara de la semilla permitieron elevar al rango de especie a *Pinus lagunae* (Passini, 1987). Algunas características de la especie se detallan a continuación.

4.9 Descripción de la especie de *Pinus lagunae*

Esta conífera tiene características únicas tales como: ser un árbol con un tronco recto, de 12 a 21 m de altura, tener 2 o 3 hojas por fascículo, de color gris verdoso; estomas en cada superficie; dos ductos resinosos. Coneletes deciduos con pedúnculos de 0.2 a 1.2 cm de largo y conos globulares o subglobulares de 3 a 6 cm de largo, el número de escamas es cercano a 9; sólo las escamas medias y superiores poseen semillas (generalmente 2 semillas por escama). La semilla es de color café o café claro moteada con café oscuro con una longitud de 12.9 ± 1.3 mm y 7.6 ± 0.5 mm de ancho; la cáscara tiene 0.5 ± 0.2 mm de grosor y la almendra es rosa. Esta especie se encuentra sólo en la Sierra de La Laguna (Robert-Passini, 1981).

En cuanto a su fenología, según Passini y Pinel (1989), los conos empiezan a crecer en marzo, después del segundo año de la fertilización, llegando a su madurez en agosto. A principios de septiembre los conos se abren dejando caer las semillas

4.10 Descripción de parcelas de estudio.

En el bosque de encino-pino de La Sierra de la Laguna se trabajó en cuatro parcelas de 2500 m² cada una, intentando localizarlas en los extremos de su distribución, al Norte, Sur, Este y Oeste. Sin embargo, la distribución del bosque y el difícil acceso a algunas zonas no permitieron que esto se realizara en forma estricta. Las parcelas quedaron ubicadas en los sitios denominados como Portezuelo del Picacho, Paso Chico, Bajada a las Hornillitas y Vereda a la Palma (Figura 4). En el Cuadro 1 se presentan algunas de las características de estos sitios.

Localidad	Sitio	Exposición	Pendiente	Sotobosque	Evidencia de Fuego	Altitud msnm
Vereda a la palma	N	N	15°	<i>Celosia floribunda</i> , <i>Bernardia lagunensis</i> <i>Calliandra peninsularis</i>	Si	1720
Bajada a Hornillitas	S	N-S	33°	<i>Celosia floribunda</i> <i>Bernardia lagunensis</i> <i>Calliandra peninsularis</i>	No	1790
Paso Chico	E	N	20°	<i>Celosia floribunda</i> <i>Calliandra peninsularis</i>	No	1675
Prtezuelo del Picacho	O	N	16°	<i>Bernardia lagunensis</i> <i>Helianthus similis</i> <i>Celosia floribunda</i>	Si	1800

Cuadro 1. Características de los sitios de muestreo en el bosque de encino-pino de la Sierra de La laguna.

UBICACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO.

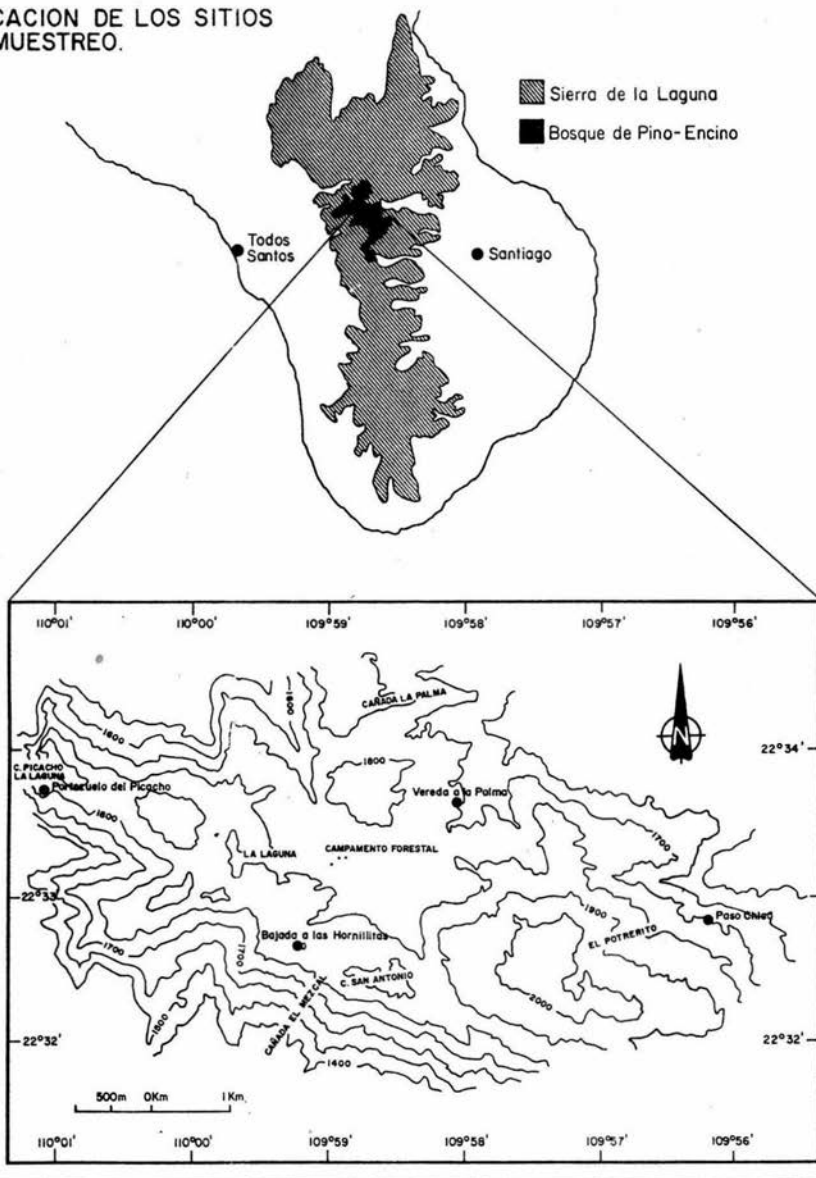


Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo en el bosque de la Sierra de La Laguna.

5. ESTUDIO POBLACIONAL DE *Pinus lagunae*

5.1 Introducción

Los bosques de coníferas que se desarrollan generalmente en climas templados y fríos, son de gran importancia tanto económica, como por su papel en la protección de recursos naturales asociados a ellos (Rzedowski, 1978; Gutiérrez, 1989). Una forma de aproximarse al entendimiento de lo que pasa en estos importantes ecosistemas es mediante el estudio de la dinámica del bosque. En este tipo de trabajos, un aspecto indispensable es el conocimiento de la estructura poblacional de las especies que los caracterizan.

La dinámica poblacional se define con la ayuda de los análisis de estructura de edades, ya que con ellos se obtienen características importantes de una población como son nacimientos, muertes y proporción de miembros en cada clase de edad (Harper, 1977). Un formato actuarial útil en los estudios de dinámica poblacional, en el que se presenta de forma concentrada ese tipo de parámetros demográficos en forma específica, por clase de edad es lo que se conoce como tabla de vida (Holla y Knowles, 1988). Cuando se le da el seguimiento en intervalos de tiempo, a los sobrevivientes de una cohorte, desde su nacimiento hasta el final de dicha generación, se puede construir una tabla de vida horizontal o dinámica; pero si el estudio se basa en individuos longevos se construye una tabla de vida vertical o estática. En las tablas de vida estática, se registran a los individuos de todas las cohortes presentes, en un tiempo específico, agrupándolos en clases de edad arbitrarias. La edad, se calcula por métodos indirectos y en el caso de las coníferas se puede inferir por el conteo de

los anillos anuales de crecimiento. En las tablas de vida estáticas se asume que el tamaño de la población es constante (Ricklefs, 1990).

Con la estructura por edades observada en una población, se pueden obtener indicios de la manera en que responde al ambiente (Floyd, 1986). Así también, puede reflejar las oportunidades que tuvieron nuevos individuos de incorporarse a la población en el pasado y/o los riesgos de mortalidad en las diferentes edades. Más aún, la estructura poblacional nos puede dar indicios de lo que puede esperarse en el futuro, siendo esta información de gran utilidad sobre todo para los forestales (Hutchings, 1986).

Se ha encontrado que *Pinus cembroides*, como en el caso de muchos árboles, presenta una distribución de formación por tallas en forma de J invertida, mostrando una alta frecuencia de tallas pequeñas y pocos individuos grandes (Floyd, 1986; Segura y Snook, 1992). Este tipo de curvas indica un descenso del riesgo de muerte con el aumento de la edad o con la talla; esto sucede cuando la edad y la talla están relacionadas estrechamente (Harcombe, 1987). De acuerdo con lo reportado por Cetina *et al.* (1988) la gráfica de distribución por edades de una población de *P. cembroides* en S.L.P. no presentó esa forma, ya que entre los 25 y los 125 años la gráfica toma forma de campana, lo cual fue explicado por el alto consumo humano de las semillas y pastoreo caprino que ataca a los árboles de menos de 1.5 m de altura. Por su parte Segura y Snook (1992), también encontraron una gráfica de distribución por edades diferente a la de J invertida, al analizar una población de *P. cembroides* localizada en el extremo sur de la distribución de estos pinos, ya que el reclutamiento se da en intervalos discretos debido a perturbaciones humanas y naturales, particularmente, los incendios.

Por otra parte, los bosques de pino piñonero en México han sido usados por siglos para el aprovechamiento de su madera y semillas así como para el pastoreo (Segura y Snook, 1992). Sin embargo, este no es el caso del bosque de encino-pino

de la Sierra de la Laguna, que se encuentra dominado por el pino piñonero *P. lagunae*, ya que aunque resulta ser muy atractivo su aprovechamiento, por la falta de recursos maderables en el Estado de Baja California Sur, no ha estado sujeto a un manejo, en gran medida por su difícil acceso. Esto ha permitido que el bosque se mantenga en condiciones casi prístinas (Arriaga, 1988).

Antes de que esta situación cambie, resulta importante analizar la capacidad que tiene este bosque de ser manejado con fines de aprovechamiento; para lo cual también es útil construir una tabla volumétrica con datos de altura del árbol y diámetro del fuste (Santillán, 1986). De acuerdo con los volúmenes de madera calculados y la velocidad de reemplazo, es posible determinar si se puede sostener una producción forestal comercial. Este tipo de actividad se realiza con el aprovechamiento ya sea de productos de consumo directo, que son aquellos que se usan con poca o ninguna elaboración (ejemplo madera en rollo, carbón, postes, palos de escoba, frutos silvestres, etc.) o de productos que sirvan de materia prima a la industria (resina de pino, madera artesanal, leña industrial, etc.) (Gutiérrez, 1989).

De acuerdo con la exposición anterior de la situación del bosque de la Sierra de la Laguna, en este capítulo se plantean las siguientes preguntas: 1. ¿Existe relación entre la edad y la talla de los individuos de la población de pinos de la Sierra de la Laguna? 2. ¿Cuál es la estructura por edades que presenta la población?, 3. ¿Cómo es la distribución por tallas?, 3. ¿Cuáles son las clases de edad que presentan mayores mortalidades?, 4. ¿Cuál es la expectativa de vida en las diferentes clases de edades?, 5. ¿Cuál es la altura y edad máxima que llegan a tener los individuos de esta población?, 6. ¿Cuál es el patrón de crecimiento mensual de los individuos adultos de la población?, 7. ¿Es posible que estos pinos sostengan una industria forestal?

Para responder a estas interrogantes, se hace un análisis estructural de la población de *P. lagunae* y su demografía, cuestiones que, junto con la tabla

volumétrica, servirán para determinar la situación de la población y dar recomendaciones sobre su posible aprovechamiento.

5.2 Metodología

- Obtención de muestras y datos

En el bosque de encino-pino de la Sierra de la Laguna, se seleccionaron cuatro sitios con características similares en cuanto a exposición, topografía, suelo, vegetación y clima. Los sitios se localizaron cerca de los extremos de la distribución de *P. lagunae* (Figura 4) (el motivo de la selección de los sitios se plantea en el Capítulo 7). En cada sitio se eligieron cuadrantes de 2,500 m² donde se muestrearon a todos los pinos mayores de 15 cm, registrándoseles los siguientes datos: altura, los individuos menores de 3 m se midieron de forma directa con cinta métrica y los restantes con la utilización de un relascope; este aparato mide con una exactitud de ± 25 cm las alturas cercanas a los 20 m y para alturas mayores con ± 50 cm de exactitud. También se midieron los diámetros perpendiculares de la proyección de la cobertura, con cinta métrica; el diámetro del tronco a la altura del pecho (1.37 cm), con una cinta diamétrica y la altura de la copa, que es la distancia desde la base del árbol hasta la altura del nacimiento de las ramas basales, midiéndose esta distancia con cinta métrica o con relascope. Posteriormente se calculó la cobertura de acuerdo con la función: $C = \pi d_1 d_2$; donde C , es la cobertura; d_1 , es el diámetro mayor de proyección de la copa y d_2 el diámetro menor. El Área Basal se calculó de acuerdo con la función: $AB = \pi D^2/4$ donde AB , es el Área Basal y D , el diámetro del tronco.

Se extrajeron núcleos de 30 individuos en cada sitio para estimar la edad; cabe señalar que se le llama núcleo a la muestra del tronco que va desde la corteza hasta el centro del árbol, obteniéndose en forma perpendicular al tronco por medio de un

taladro Pressler (ver Capítulo 7). Estos pinos muestreados presentaron un ámbito de alturas entre 0.2 y 25 m y se localizaron en las cercanías de los cuadrantes. Aquellos árboles que presentaron una altura menor a 1.5 m se cortaron (3 árboles en cada sitio), obteniéndose una sección transversal de cada individuo.

- Análisis de datos

Con la finalidad de describir la estructura de la población, se obtuvieron las distribuciones de frecuencias relativas de altura, área basal y cobertura para cada sitio. Dado que las poblaciones seleccionadas están ubicadas en diferentes sitios del bosque, con el objeto de comprobar si se trataba de poblaciones con distintas estructuras poblacionales o si en su conjunto constituían una misma población, hablando en sentido estadístico, se efectuó la prueba de Kruskal-Wallis (Leach, 1982). Las variables que se compararon entre las cuatro poblaciones locales fueron la distribución de frecuencias de altura, cobertura y de área basal.

Estimación de la edad y elaboración de una tabla de vida

La edad de los pinos se estimó en el laboratorio, contando el número de anillos de crecimiento presentes en los núcleos. Con el fin de estimar la edad con base en la altura de los pinos censados en los cuadrantes, se efectuó una regresión lineal simple entre el número de anillos de cada núcleo y la altura del árbol. Para construir una tabla de vida estática de *P. lagunae* se agruparon los datos de toda la población de pinos en 17 clases de edad, y se procedió a estimar los parámetros de la tabla de acuerdo con las fórmulas propuestas por Krebs (1978).

- n_x Número de individuos observados en cada clase de edad.
- l_x Proporción de individuos sobrevivientes al empezar el intervalo de edad x ($l_x = n_x/n_0$).
- d_x Número de muertes durante el intervalo de edad x a $x+1$ ($d_x = n_x - n_{x+1}$).
- q_x Tasa de mortalidad durante el intervalo de edad x a $x+1$ ($q_x = d_x/n_x$).
- e_x Esperativa de vida de los individuos al empezar x ($e_x = T_x/n_x$ donde $T_x = \sum_{x}^{\infty} L_x$, y $L_x = (n_x + n_{x+1})/2$)

El patrón de crecimiento interanual de los individuos adultos de la especie, se obtuvo al tomar mediciones del incremento radial de 20 árboles adultos de cada sitio, durante 8 veces en el transcurso de un año, por medio de un microdendrómetro. Este instrumento está graduado en unidades de 0.01 mm. Debido a que el crecimiento de los árboles se da de forma estacional sigue un patrón sigmoide, por lo que los datos de incremento promedio acumulativo se ajustaron a la curva logística, según la función: $y = k / (1 + e^{-rt})$, donde y , representa el incremento radial; t , el tiempo de observación y k , representa el valor máximo que alcanza la variable dependiente. Esta función se lineariza quedando de la siguiente forma: $\log((k - y)/y) = a - rt$, donde a , representa la ordenada al origen y r , la pendiente de la recta.

Con los datos de altura y diámetro se calculó el volumen de cada árbol, de acuerdo con la siguiente función: $V = AB \cdot H$, en donde AB es el área de la base ($AB = (\pi \cdot DBH^2)/4$) y H , es la altura (Santillán, 1986). Cabe resaltar que esta función es la utilizada para la obtención del volumen de un cilindro, figura con diámetro constante, mientras que en el tronco de un pino el diámetro se reduce con la altura, por lo que el volumen calculado que se presenta en este trabajo, está sobreestimado. De acuerdo con esos resultados se elaboró la distribución de frecuencias de volumen. Así también se construyó la tabla volumétrica sobreestimada para *P. lagunae* al colocar

el producto de la frecuencia observada por el volumen calculado de un árbol, en la casilla correspondiente según su *DBH* y clase de altura.

5.3 Resultados

- Estructura de la población

La densidad de pinos mayores a 15 cm de altura, en las cuatro localidades es relativamente uniforme variando alrededor de 1,734 pinos por hectárea. Sin embargo, los sitios más contrastantes son Portezuelo del Picacho, que presenta la mayor densidad relativa de pinos (31.5% del total de pinos muestreados) con 2,132 pinos por hectárea; y Paso Chico, que presenta la menor densidad con 16.2% y un total de 1,180 pinos por hectárea (Cuadro 2). Asimismo, el mayor número de pinos prereproductivos se presentó en la localidad del Portezuelo del Picacho que corresponde al 96.23% del total de los individuos muestreados para ese sitio.

Sitio	No. Individuos Prereproductivos	No. de individuos Reproductivos	Total
Vereda a la Palma	1968 93.54%	136 6.46%	2104 30.33%
Bajada a Hornillitas	1344 88.42%	176 11.58%	1520 21.92%
Paso Chico	1064 90.17%	116 9.83%	1180 17.01%
Portezuelo del Picacho	2052 96.23%	80 3.75%	2132 30.74%
Total	6428 92.68%	508 7.32%	6936

Cuadro 2. Densidad poblacional en los diferentes sitios muestreados. Cada sitio muestra el número de individuos por Hectarea y el porcentaje del total de individuos por sitio. En el renglon y columna de totales el porcentaje se da con respecto al número de individuos en los cuatro sitios.

Con el objeto de ver si se trataba de poblaciones con distintas estructuras poblacionales, las distribuciones de frecuencias de altura, cobertura y área basal para los 4 sitios (Figuras 5 a-c), fueron analizadas mediante la prueba de Kruskal-Wallis (Leach, 1982), partiendo de la hipótesis nula de que las muestras no difieren significativamente entre sí. El valor de tablas de K con 3 grados de libertad cuando $\alpha = 0.05$ es de 7.815 y en los tres casos evaluados, el valor obtenido de K es menor que éste. Así se tiene que: para la distribución de frecuencias de altura se obtuvo un valor de $K = 1.081$; para las distribuciones de frecuencias de área basal $k = 2.07$ y para la distribución de frecuencias de coberturas $k = 4.4$. De modo que no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no existe diferencia significativa entre las frecuencias de distribuciones de las poblaciones de pino estudiadas.

Con base en estos resultados, se decidió agrupar los datos de los pinos de los cuatro sitios para analizar las tres variables (Figuras 6a-c). Para el caso de la altura, se observa que la mayor frecuencia relativa de individuos se agrupa dentro de la primera categoría, correspondiendo a individuos con alturas menores al metro, mientras que la frecuencia de los mismos disminuye considerablemente en las siguientes categorías. Para observar las variaciones de frecuencia en esas categorías, se graficó el eje de las ordenadas en escala logarítmica (Figura 6a), observándose que la tendencia es a ir disminuyendo la frecuencia gradualmente, aunque para las clases de altura 7, 8, 10 y 13 el descenso es mayor.

La distribución de frecuencias de coberturas también presenta la mayor agrupación de individuos en las categorías bajas (Figura 6 b); ya que al igual que la altura, se trata de una distribución de jota invertida en donde la mayoría de los individuos presentan áreas de cobertura que oscilan entre los 0 y los 7 m². El mismo patrón se observa al analizar la distribución de frecuencias de áreas basales (Figura 6c).

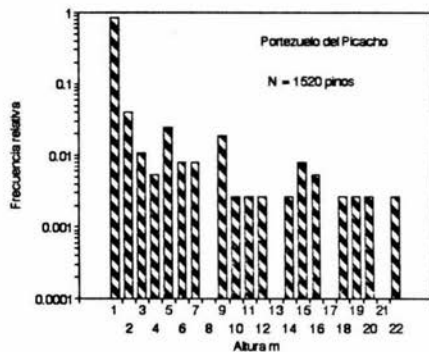
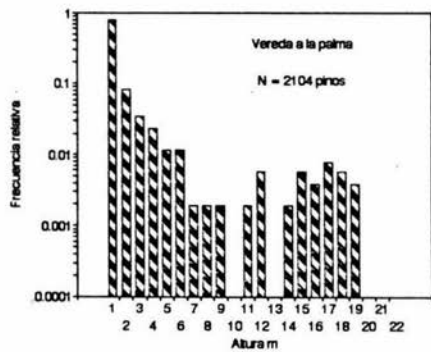
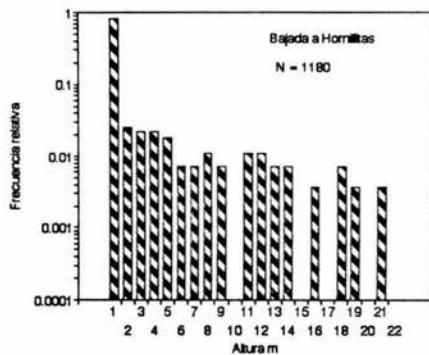
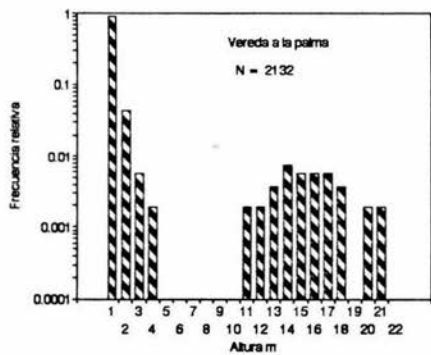


Figura 5a). Distribución de frecuencias relativas de alturas para cada sitio de muestreo. El eje de las ordenadas esta en escala log. La N representa el número de individuos / Ha.

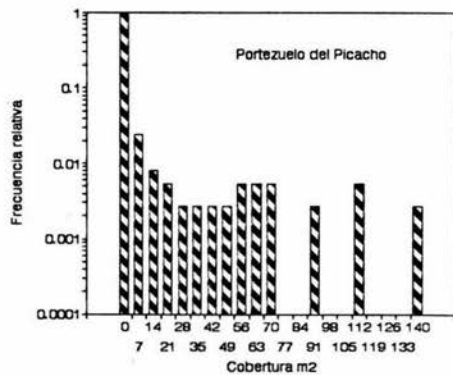
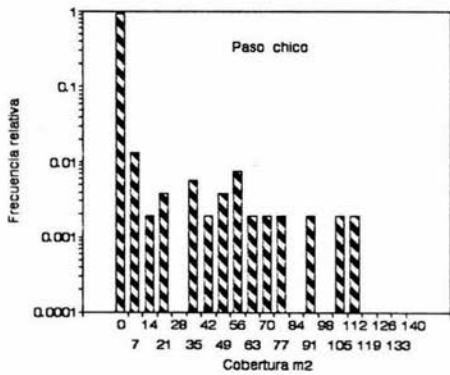
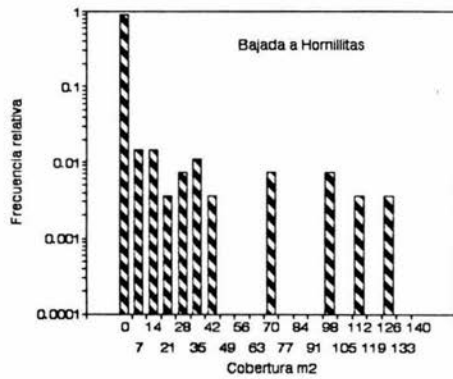
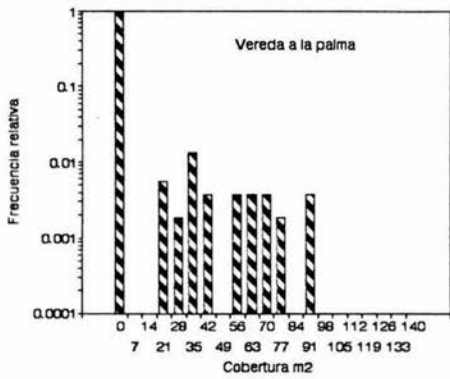


Figura 5 b). Distribución de frecuencias relativas de coberturas. El eje de las ordenadas esta en escala logarítmica y el número de individuos para cada sitio es el mismo que en la figura anterior.

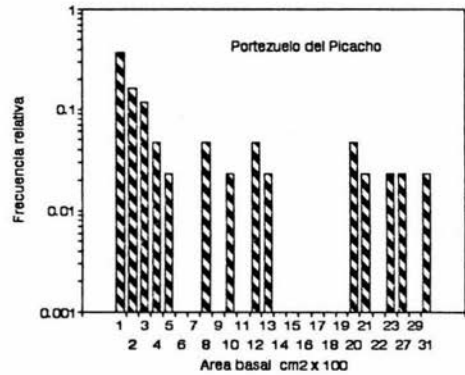
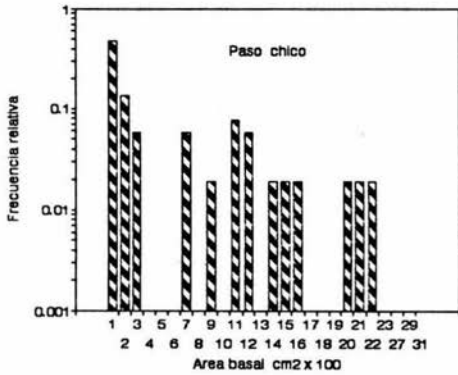
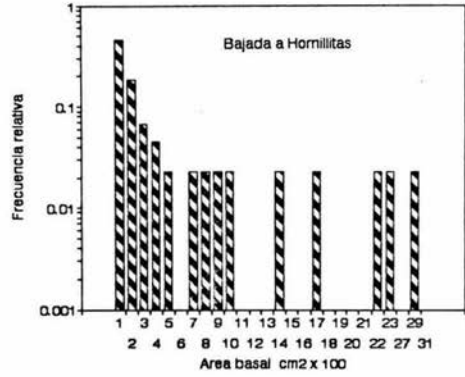
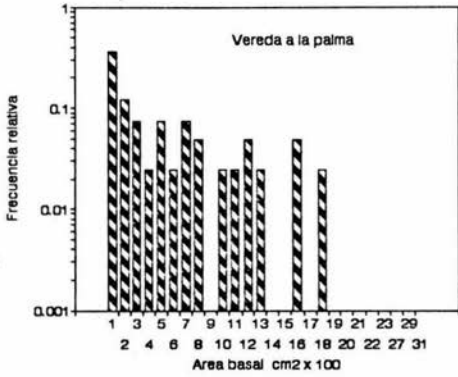


Figura 5 c). Distribución de frecuencias relativas de áreas basales. El eje de las ordenadas esta en escala log y el número de individuos para cada sitio es el mismo que los de la Figura 5 a).

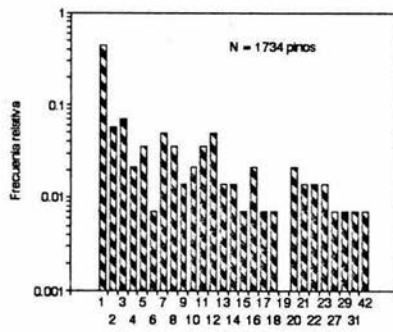
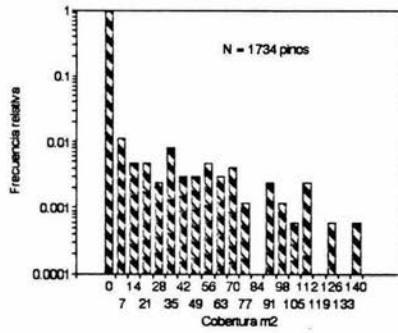
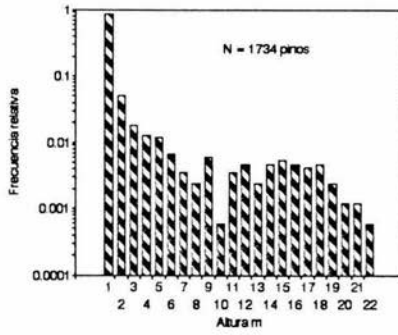


Figura 6. Para la población de *P. lagunae* a) Distribución de frecuencias de alturas. b) Distribución de frecuencias de coberturas. c) Distribución de frecuencias de áreas basales.

- Demografía

Relacionando la edad de los pinos con la altura de los mismos, se obtuvo un modelo de regresión altamente significativo: $E = 3.61 + 6.27 H$, ($g.l. = 126$, $p < 0.0001$, $r^2 = 0.899$) en donde E = Edad del individuo (años). Esto se puede apreciar gráficamente en la Figura 7. El ajustar los datos a una recta implica que la ganancia en altura del árbol, es constante conforme aumenta de edad. Cabe mencionar que de acuerdo a como se presentan distribuidos los datos en esta figura, se pensó que el ajuste a un modelo sigmoide podría ser más adecuado, pero como el coeficiente de correlación y la significancia fueron prácticamente iguales en los dos ajustes ($p \leq 0.0001$, $r^2 = 0.8999$) y la utilización del ajuste a una recta también es reportado en otros trabajos (Platt *et al.*, 1988; Segura y Snook, 1992), se decidió utilizar el modelo de regresión lineal, para calcular la edad de los pinos con base a su altura.

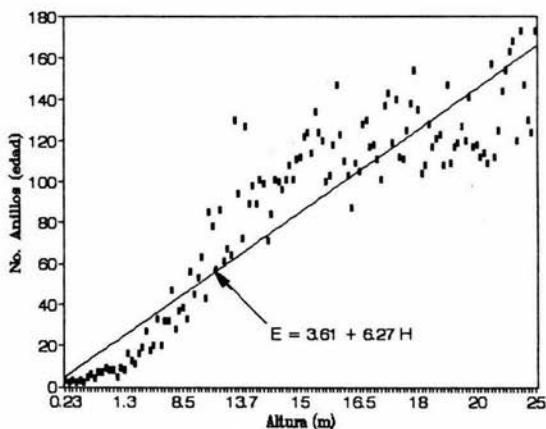


Figura 7. Dispersión de los datos de la altura con la edad (No. de anillos) y su ajuste a una recta ($p < 0.001$, $r^2 = 0.899$).

Con todos los datos estructurales se procedió a establecer una tabla de vida estática, incluyendo a los individuos de las cuatro localidades, dado que no existen diferencias significativas entre ellas.

En las tablas de vida reportadas para árboles con longevidades similares a *P. lagunae*, las clases de edad son establecidas cada 10 años, sin embargo en los análisis previos que se hicieron con esta población, se observó que las variaciones numéricas más bruscas se dan entre los individuos menores a quince años y si se agruparan a todos los individuos en clases de diez años, esas variaciones no se observarían por lo que se decidió hacer unas subdivisiones quedando las clases como sigue: en la clase uno se agruparon a los individuos menores a seis años; en la clase dos a los que se encuentran entre los seis y diez años; en la tercera clase a los individuos entre los diez y los quince años. Las clases siguientes se establecieron cada diez años. Para realizar la tabla de vida hubo que realizar los siguientes ajustes (Cuadro 3):

- Ya que el intervalo de tiempo entre las diferentes clases de edad es distinto, se estandarizaron las frecuencias para poder compararlas. Esto se realizó de acuerdo al modelo Krebs (1989), según el cual $FE = n_x(t_s/t_o)$; donde FE es la frecuencia estandarizada; n_x , número de individuos observados en cada clase de edad; t_s , intervalo de tiempo estandarizado que en este caso es igual a 5; t_o , intervalo de tiempo observado que a su vez es igual a $t_x - t_{x-1}$.
- La columna de n'_x corresponde a los valores redondeados de FE .

X	t	n_x	FE	n'_x
1	6	1053	877.5	878
2	10	435	543.8	544
3	15	51	51.0	51
4	25	25	12.5	13
5	35	31	15.5	16
6	45	15	7.5	8
7	55	7	3.5	4
8	65	15	7.5	8
9	75	7	3.5	4
10	85	9	4.5	5
11	95	14	7.0	7
12	105	13	6.5	7
13	115	8	4.0	4
14	125	4	2.0	2
15	135	5	2.5	3
16	145	2	1.0	1
17	155	1	0.5	1
18	165	1	0.5	1

Cuadro 3. Ajustes para realizar la tabla de vida. donde x es la clase de edad, t es la edad máxima de esa clase dada en años, n_x es el número de individuos observados en cada clase de edad, FE son las frecuencias estandarizadas y n'_x son los valores redondeados de FE .

La tabla de vida construida a partir de n'_x se presenta en el Cuadro 4; las variables más importantes que se discuten son la sobrevivencia (l_x), la mortalidad (q_x) y la esperanza de vida (e_x) (Krebs, 1989).

X	n'_x	l_x	d_x	q_x	e_x
1	878	1000	334	317.19	12.73
2	544	619.59	493	1133.33	7.47
3	51	58.09	38	745.10	21.37
4	13	14.81	0	0	59.23
5	16	18.22	8	258.06	39.06
6	8	9.11	4	266.67	63.13
7	4	4.56	0	0	111.25
8	8	9.11	4	266.67	48.13
9	4	4.56	0	0	81.25
10	5	5.69	0	0	56.00
11	7	7.97	0	0	31.43
12	7	7.97	3	230.77	21.43
13	4	4.56	2	250.00	23.75
14	2	2.28	0	0	32.50
15	3	3.42	2	400.00	13.33
16	1	1.14	0	0	20.00
17	1	1.14	0	0	10.00
18	1	1.14			

Cuadro 4. Tabla de vida para *Pinus lagunae*. Las columnas equivalen a:

x Clases de edad.

n'_x Frecuencia estandarizadas de individuos para cada clase de edad.

- l_x Proporción de individuos sobrevivientes al empezar el intervalo de edad x ($l_x = 1000n'_x/n'_0$).
- d_x Número de muertes durante el intervalo de edad x a $x+1$ ($d_x = n'_x - n'_{x+1}$).
- q_x Tasa de mortalidad durante el intervalo de edad x a $x+1$ ($q_x = 1000d_x/n'_x$).
- e_x Esperativa de vida de los individuos al empezar x ($e_x = 10T_x/n'_x$ donde $T_x = \sum_{x}^{\infty} L_x$, y $L_x = (n'_x + n'_{x+1})/2$)

Las formulas utilizadas para la obtención de la tabla de vida son las propuestas por Krebs (1989), sin embargo, de acuerdo con Wratten y Fry (1980), l_x y q_x se multiplicaron por 1000 para hacerlo comparativo con otros estudios. Por otra parte, debido a que se trata de una tabla de vida estática, la frecuencia de individuos a lo largo de las clases de edades, no necesariamente va disminuyendo y esto da por consecuencia que al calcular el número de muertes por clase de edad (q_x), algunos valores resulten negativos. Para solucionar eso, se substituyeron los valores negativos por cero, ya que en esas clases de edad no hubo muertes.

- Sobrevivencia

La curva de sobrevivencia (Figura 8a), como era de esperarse, se ajusta a la curva tipo III de Pearl, en donde se observa una marcada disminución en la sobrevivencia de los individuos de las primeras categorías, pero al cambiar la escala de las ordenadas a logarítmica (Figura 8b) se puede apreciar que la sobrevivencia se da en forma escalonada.

- Tasa de mortalidad

Al graficar la tasa de mortalidad en función de la edad (Figura 9) se puede apreciar con mayor facilidad las edades en las que la tasa de mortalidad aumenta. La tasa de mayor mortalidad se observa para los individuos de las tres primeras

categorías, es decir los individuos menores a los quince años. Posteriormente se ven otras alzas en la tasa de mortalidad, lo que indica una mortalidad inconsistente a lo largo de las clases de edad.

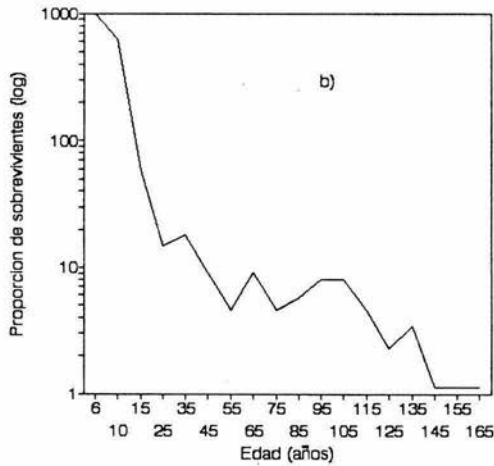
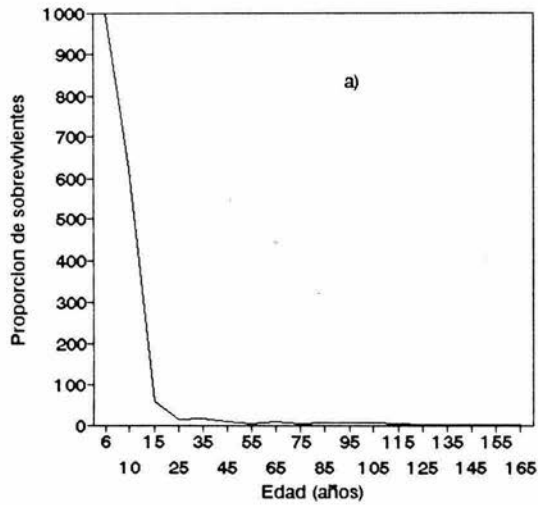


Figura 8. Curva de supervivencia para *P. lagunae*. a) Con el eje de las ordenadas en escala normal. b) Con el eje de las ordenadas en escala log, con el que se aprecian más los cambios en la población.

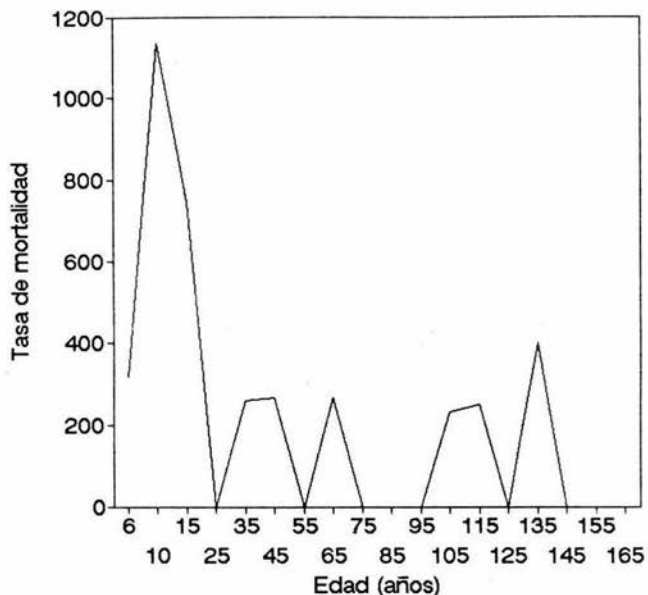


Figura 9. Tasa de mortalidad para *P. lagunae*, se observa que la mortalidad es inconsistente en el transcurso de las clases de edad.

El primer pico de mortalidad se explica con base en la mortalidad natural de plántulas e individuos juveniles que después de establecerse, su mortalidad disminuye considerablemente. El último pico se explica como un proceso natural de senectud, ya que los árboles viejos se vuelven más vulnerables a enfermedades, viento u otras causas de muerte. Los otros picos de mortalidad en individuos adultos, probablemente se explican por la frecuencia y magnitud de los incendios naturales que han afectado al bosque (Cuadro 5), o por el ataque de insectos descortezadores.

Fecha	Area afectada (Ha)
----- 1968	5 000
Julio 1977	200
Julio 1977	1 000
Julio 1977	200
Julio 1982	20
Octubre 1985	200

Cuadro 5. Registro de incendios en el bosque de encino-pino de la Sierra de La laguna (SARH, 1990).

- Esperativa de vida

Los valores altos de mortalidad, se ven reflejados en una baja longevidad esperada y se muestran en la columna e_x . Así se tiene que la longevidad esperada para los individuos de 6 a 10 años (segunda clase de edad) es de 7.47 años siendo este el valor más bajo, mientras que el más alto es de 111.25 años para los individuos de 45 a 55 años.

- Patrón de crecimiento mensual

Debido a la estacionalidad climática, el crecimiento en el transcurso de un año sigue un patrón sigmoide, por lo que los datos obtenidos del incremento radial de un año, se ajustaron a una función logística (Figura 10), quedando de la siguiente forma:

$$IR = \frac{2.17}{1 + e^{3.87 - 0.58t}}$$

Esta función ($n = 8$, $r = 0.99$, $p < 0.001$) describe el patrón de crecimiento durante 1990 para los individuos de *Pinus lagunae* con un D.A.P. mayor de 55 cm. En la Figura 10, el tiempo está dado en meses, equivaliendo el 1 a enero, el 2 a febrero y así sucesivamente. De la gráfica se deduce que estos pinos alcanzaron en promedio el valor máximo de incremento radial de 2.17 mm/año, siendo el índice de crecimiento radial por individuo de 0.58 mm/año. Esta gráfica se discutirá también en el capítulo 7.

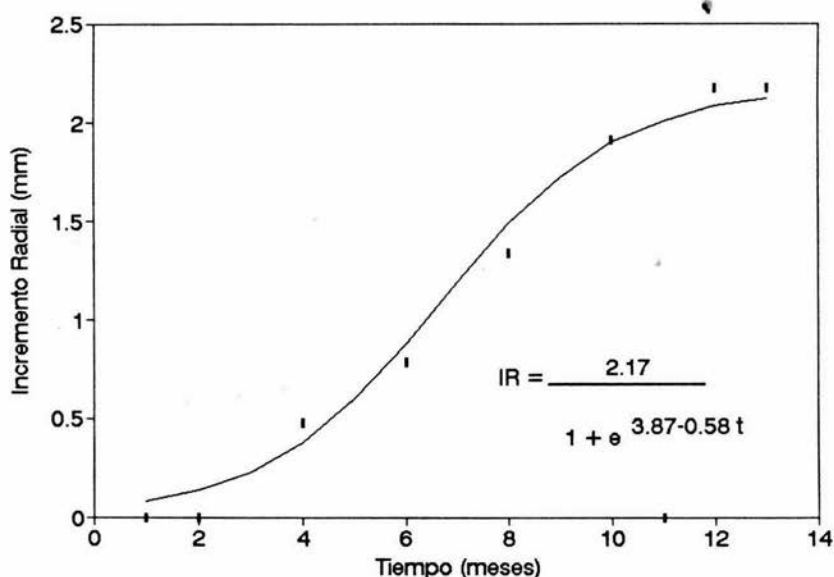


Figura 10. Patrón de crecimiento radial mensual de pinos con un D.A.P. mayor de 55 cm y su ajuste a una función logística ($n = 8$, $r = 0.99$, $p < 0.001$).

- Tablas Volumétricas

Se obtuvo la distribución de frecuencias de volúmenes (Figura 11), observándose que la mayoría de los individuos están agrupados en las categorías de volúmenes bajos. Asimismo se calculó la tabla volumétrica de la especie con el

propósito de comparar las tallas y los volúmenes susceptibles de explotación (Cuadro 6). De acuerdo con ésta, la proporción de individuos con un talla comercial es baja, ya que en ella se presentan los volúmenes y frecuencias de los pinos que tienen una altura superior a los 2 m (equivale a menos del 15% de la población).

DBH (cm)	ALTURA TOTAL DEL FUSTE (m)										
	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0
10	0.76	0.90	0.83	0.39	0.08	0.09	0.11	----	----	----	----
15	0.04	0.07	0.11	0.48	0.34	0.19	0.25	0.27	----	----	----
20	0.06	0.13	0.19	0.50	1.44	1.42	1.67	0.50	0.88	----	----
25	0.10	0.20	0.30	0.39	0.49	1.72	2.66	0.74	1.27	0.98	----
30	0.14	0.28	0.42	0.57	0.71	0.99	2.83	1.06	2.40	1.41	1.56
35	0.19	0.38	0.58	0.77	0.96	1.15	1.94	10.59	4.91	1.92	2.12
40	0.25	0.50	0.75	1.01	1.26	1.51	1.76	3.89	8.92	4.90	2.76
45	0.32	0.64	0.95	1.27	1.59	1.91	2.22	2.54	2.86	3.18	3.50
50	0.39	0.79	1.18	1.57	1.96	4.15	2.75	12.37	7.06	8.64	4.32
55	----	0.95	1.43	1.90	2.38	2.85	3.33	3.80	4.28	4.75	5.23
60	----	----	1.70	2.26	2.83	3.39	3.96	4.52	5.09	5.65	6.22
65	----	----	----	2.65	3.32	3.98	4.65	5.31	5.97	6.64	7.30
70	----	----	----	----	3.85	4.60	5.39	6.16	6.93	7.30	8.47
75	----	----	----	----	----	5.30	6.19	7.07	7.95	8.84	9.72
80	----	----	----	----	----	----	7.04	8.04	9.05	10.05	11.06
85	----	----	----	----	----	----	----	9.08	10.21	11.35	12.48

Cuadro 6. Tabla de volúmenes de *Pinus lagunae* (m³ rollo total árbol).

5.4 Discusión

Con base en los resultados sobre la estructura poblacional y la tabla de vida, se puede concluir que la población de pinos en la Sierra de La Laguna es una población joven en donde prevalecen los individuos de tallas cortas y edades tempranas (Cuadro 3, Figuras 6a-c). Por presentar esas características, de acuerdo con Holla y Knowles (1988), se consideran a los pinos de la Sierra como una población dinámica. Asimismo, tanto con el modelo de regresión lineal que se obtuvo en función de la edad y la altura de los individuos (Figura 7), como con los resultados derivados de la tabla de vida (Cuadro 4), es posible establecer que estos pinos pueden alcanzar edades superiores a los 150 años, concordando con lo obtenido por Pinel (1985) con diferentes métodos.

Por otra parte, la elevada proporción de individuos juveniles contrasta con las disrupciones en las distribuciones de frecuencias de alturas, coberturas y áreas basales para individuos con tallas intermedias (Figuras 6a-c). Asimismo en la tabla de vida se puede apreciar que la expectativa de vida, después de llegar a un máximo, no disminuye suavemente, como lo reporta Holla y Knowles (1988) con una población de *Pinus strobus*. Esto, como lo señala Floyd (1986), puede ser causado por : 1) los años semilleros; 2) la inconsistencia en la mortalidad a lo largo de las clases de edad y 3) a la acción conjunta de 1) y 2).

Los pinos piñoneros presentan años en los cuales la producción de semillas es mayor llamándoseles " años semilleros " y la periodicidad con que estos ocurren varía entre 2 y 5 años, según la edad, el suelo y la especie (Prieto y Quiñones, 1993). Para el caso de *P. lagunae* , aún no se ha detectado la periodicidad con que se presentan los años semilleros. Sin embargo, las disrupciones que se observan en las distribuciones de frecuencias, no pueden ser atribuibles únicamente a los años semilleros, ya que las clases de edad se establecieron cada diez años y en cada clase de edad se pueden presentar varios años semilleros. En cuanto a la inconsistencia en

la mortalidad a lo largo de las clases de edad, esta se puede apreciar en el escalonamiento que presenta la curva de sobrevivencia (Figura 8b). Las elevaciones en las tasas de mortalidad que se muestran en la Figura 9, para las categorías de edades intermedias no son explicables desde un punto de vista silvícola, como sucede con otras poblaciones de pinos piñoneros (Floyd, 1986; Cetina *et al.*, 1988; Segura y snook, 1992) dado que este bosque nunca ha sido manejado con fines de aprovechamiento. Sin embargo, cabe la posibilidad de que las interrupciones observadas se deban a perturbaciones por factores naturales externos determinadas en gran medida por la alta incidencia de incendios ocurridos durante los últimos 25 años (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con lo obtenido por Arriaga (1988) para la misma comunidad boscosa, quien obtuvo que el 79% de los pinos muertos en pie y/o tirados presentaban evidencias de fuego en el tronco.

Otra posibilidad para explicar la alta mortalidad de árboles adultos y muy generalizada en bosques templados es la ocurrencia de agentes patógenos. En general los bosques de coníferas, por formar masas puras, son susceptibles al ataque por hongos, por plantas parásitas o hemiparásitas e insectos (Andersen, 1988; Arriaga *et al.*, 1988; Gutiérrez, 1989; Santillán, 1986). Los factores debilitantes que se pueden apreciar en los árboles son las cicatrices de incendios, cortes hechos con el objeto de extraer resina y resinaciones que se producen por la incidencia de insectos descortezadores.

El bosque de pinos de la Sierra de La Laguna aparentemente presenta un problema de este tipo, ya que muchos de los individuos presentan un severo ataque por insectos descortezadores que viven bajo la corteza y se alimentan de la zona generatriz, dejando como huella una serie de galerías. A pesar de que no se tienen datos cuantitativos sobre la magnitud y el daño que provocan estos insectos en la población, las evidencias sugieren que la alta mortalidad de individuos maduros se debe a la naturaleza contagiosa o epidémica de las plagas en el bosque. Esto se manifiesta con la alta incidencia de rodales con pinos muertos en pie con evidencia del

ataque de insectos, en todas las localidades estudiadas y por su parte, Arriaga (1988) observa que la forma de mortalidad más común de los pinos en estas comunidades es la muerte en pie. Las evidencias podrían indicar que la mortalidad de los árboles adultos en el bosque de encino-pino es el resultado de los dos factores antes mencionados; por un lado, la alta incidencia de incendios en la comunidad, y por otro el ataque de insectos.

Aunque aparentemente el bosque de la Sierra presenta una alta densidad de pinos (1734 pinos/Ha), comparada con la de otro bosque con 870 pinos/Ha que es afectado por actividades humanas (Segura y Sook, 1992); más del 85% de los pinos de la Sierra, no sobrepasan el metro de altura, por lo que los individuos grandes son muy pocos. Esto se comprueba al comparar la tabla volumétrica obtenida para la especie (Cuadro 6) con otras tablas volumétricas, como la estimada para *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* en el Parque Nacional de Zoquiapan (Rodríguez y Padilla, 1976). Además de la limitada extensión del bosque de coníferas de la Sierra de La Laguna (20,000 Ha), se observa para *P. lagunae* una escasez de diámetros y volúmenes comerciales mismos que son insuficientes para realizar una extracción continua, autosostenible y rentable en este bosque. En la tabla volumétrica obtenida para el Parque Nacional de Zoquiapan, las alturas, diámetros y volúmenes máximos que se obtienen alcanzan los 45 m, 130 cm de D.A.P. y 30.47 m³, respectivamente. Mientras que en la Sierra de La Laguna, las alturas, diámetros y volúmenes máximos sólo alcanzan los 26 m, 85 cm de D.A.P. y 14.75 m³, respectivamente.

Como las fuentes de recurso maderable en el estado de Baja California Sur son muy escasas (Breceda *et al.*, 1992), el aprovechamiento del bosque de encino-pino de la Sierra de La Laguna resulta ser muy atractivo. Sin embargo, los resultados del presente estudio resultan ser desalentadores para realizar actividades de este tipo en la zona. Pero si el interés es el de generar fuentes de ingresos para los ejidatarios y pequeños propietarios que tienen terrenos en la Sierra, otra opción es mediante los recursos no maderables del pino, como es el caso de los piñones, mediante el

establecimiento de huertos semilleros (Díaz y Arriaga, 1992). Este tipo de actividades además de generar ingresos, permiten tener abastecimiento de semillas para realizar actividades de reforestación.

La reciente creación de la Reserva de La Biósfera permitirá tener control y vigilancia de las acciones que ahí se realicen, protegiendo de esa manera los recursos naturales de la Región. Como dentro de las actividades que se deben efectuar en una Reserva están los estudios de investigación sobre especies de importancia; se proponen la realización de estudios más profundos sobre el cálculo de la velocidad de reemplazo de los pinos, así como la cuantificación y magnitud del daño que los insectos e incendios forestales causan al bosque.

6. ANALISIS CLIMATOLOGICO

6.1 Antecedentes

La Sierra de La Laguna presenta tres zonas térmicas: una cálida, otra semicálida y una templada, que están determinadas principalmente por las variantes altitudinales (Arriaga y Ortega, 1988). Como la Sierra se encuentra bajo la influencia de las masas de aire tropical provenientes de la zona de convergencia intertropical, tiene una gran importancia hidrológica ya que participa, en gran medida, en la captación pluvial y por consiguiente, en el suministro de agua subterránea para los acuíferos (Guertin *et al*, 1988). De extrema importancia para la región es este hecho, ya que según el Plan Hidráulico del estado de Baja California Sur (Gobierno del Estado, 1982), el volumen de agua dulce disponible es menor a la demanda total requerida en forma creciente por los sectores turístico, urbano, agrícola y pesquero. Por lo anterior, en la medida en que se conserve la Sierra de La Laguna, el recurso hidráulico podrá estar más disponible, impulsando con ello el desarrollo de la región.

Sin embargo, para lograr un manejo adecuado de los recursos naturales de una zona, es necesario tener un conocimiento claro de las poblaciones y comunidades que en ella habitan, así como de su relación con el medio, identificando los ajustes o cambios estructurales determinados principalmente por las variaciones anuales e interanuales del clima. Los estudios ecológicos no estarán completos si no se conocen las variaciones ambientales, siendo de particular importancia las fluctuaciones y tendencias de la aridez en la Sierra de La Laguna, dado el patrón climático del estado.

La Región del Cabo, donde se ubica la Sierra de La Laguna, ha llamado la atención a botánicos y exploradores desde fines del siglo pasado (León de la Luz y Domínguez Cadena, 1989), destacándose el trabajo de Brandegees (1892), quien hizo

una descripción de la distribución de la flora. Posteriormente Shreve y Wiggins (1964), al describir las subdivisiones del Desierto Sonorense mencionan que en su distribución más austral, se encuentra rodeando en parte a la vegetación árido tropical de la Región del Cabo.

La Región del Cabo entonces, se encuentra en colindancia con comunidades vegetales del desierto sonorense, distinguiéndose del paisaje árido de la península, sobre todo en época de lluvias cuando el área exhibe más bien un aspecto tropical (León de la Luz *et al.*, 1988). Así también, a lo largo de las tres zonas térmicas de la Sierra (Fig. 3), se establecen al menos cuatro tipos de vegetación: matorral xerófilo, selva baja, bosque de encino y bosque de encino-pino (León de la Luz *et al.*, 1988; Morelos, 1988).

Aunque se han realizado estudios sobre algunos aspectos climatológicos en la Península de Baja California como es la obtención de la base de datos climatológicos para Baja California (Hastings, 1964; Hastings y Humphrey, 1969); el análisis de la precipitación en cuanto a: 1. Su variabilidad (Reyes-Coca y Rojo-Salazar, 1985; Salinas-Zavala y Leyva-Contreras, 1989), 2. sus regimenes estacionales (Hastings y Turner, 1965), 3. la variabilidad de sus componentes armónicos (Leyva-Contreras *et al.*, 1988), y 4. su reconstrucción (Rueda, 1983); la influencia de los ciclones (Latorre y Penilla, 1988) y de climatología en general (García y Mosiño, 1968; Salinas-Zavala *et al.*, 1988; Salinas-Zavala *et al.*, 1990), se ha visto la necesidad de tener mayor información climatológica para la Sierra de La Laguna.

Con el análisis de los registros de las estaciones meteorológicas de la Sierra de La Laguna, se pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes: 1. ¿Es posible formular una serie climatológica representativa para la región? 2. De ser posible lo anterior, ¿presenta la serie periodicidades definidas? 3. ¿Las periodicidades se pueden asociar con fenómenos cíclicos como el ENSO? 4. ¿Cuál es la tendencia de la serie y cómo se explica dentro del cambio climático global?

6.2 Metodología.

- Obtención de datos.

Dado que no existen estaciones meteorológicas en las porciones elevadas de la Sierra de La Laguna, hemos basado los análisis en los registros climatológicos de las 9 estaciones que se encuentran en las partes bajas y medias de la sierra, a una altitud promedio de 451 m s.n.m. (Cuadro 7).

Estación Meteorológica	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo de Registros	Datos faltantes
Caduaño	23°18'	109°48'	195	1942-1990	13
El Triunfo	23°48'	110°07'	460	1961-1990	7
Los Divisaders	23°52'	110°10'	490	1943-1990	4
San Antonio	23°47'	110°05'	375	1953-1990	5
San Bartolo	23°42'	109°51'	395	1940-1990	17
Santa Gertrudis	23°30'	110°05'	450	1940-1990	13
Santiago	23°28'	109°44'	135	1940-1990	5
Sierra de La Laguna	23°30'	109°58'	1360	Discontinua	
Yeneca	23°13'	109°48'	200	1962-1990	18

Cuadro 7. Estaciones meteorológicas de las inmediaciones al bosque de encino-pino de la Sierra de La Laguna.

Para realizar este trabajo, se obtuvieron los datos de precipitación mensual y temperatura media mensual de nueve estaciones meteorológicas (Figura 12) para el periodo que va desde el inicio de operaciones de cada estación hasta 1990.

Se consideraron estas estaciones ya que sus registros tienen más de veinte años de operación. La información de cada una de ellas se verificó y estandarizó de tal forma que fueran series continuas. Los huecos de información en todos los casos se cubrieron con el promedio de largo plazo para ese mes y en ningún caso el número de meses faltantes en un año en particular fue mayor a cinco. La estación de la Sierra de La Laguna tiene datos incompletos, ya que presenta períodos durante los cuales la estación dejó de funcionar. En el Cuadro 8, se muestra el número de meses faltantes para cada estación tanto para temperatura como para precipitación.

- Cálculo del Índice de aridez.

El cálculo de aridez se obtuvo según el índice de Martonne (1926). Pese a que este índice fue uno de los primeros que se usó para determinar la aridez, y a pesar de que después de él han surgido muchos más (Stadler, 1987), se eligió este índice ya que los datos climatológicos disponibles para todas las estaciones consideradas eran únicamente la temperatura y la precipitación. El índice de Martonne solo contempla dichas variables para su cálculo como se aprecia en la siguiente función:

$$Ar = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i}{T_i + 10}$$

en donde: Ar , es el índice de aridez; P , precipitación total mensual; T , temperatura media mensual.

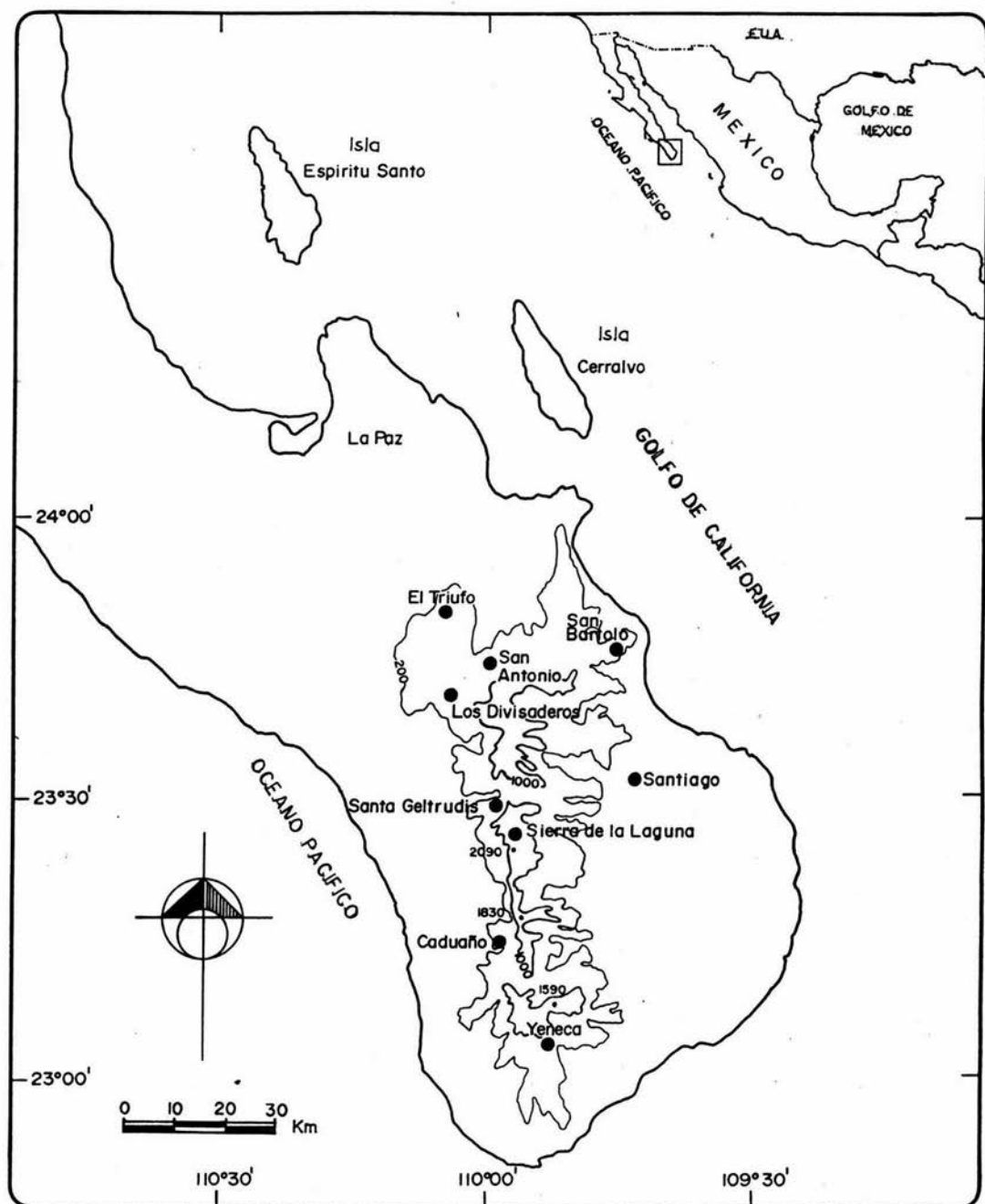


Figura 12. Ubicación de las estaciones meteorológicas de las inmediaciones al bos ae

Con los datos de las estaciones meteorológicas se calcularon los índices de aridez mensual para cada estación y al realizar la sumatoria de los índices de cada año, se obtuvo el índice total anual, dando como resultado una serie de índices para cada estación.

Con el objeto de observar la tendencia general de cada una de las series utilizadas se realizó una regresión lineal de esos valores en función del tiempo.

Según el valor de este índice, Martonne (1926), distingue 7 climas:

0 - 5	Desértico
5 - 10	Arido
10 - 20	Semiárido
15 - 25	Transición
20 - 25	Semihúmedo
25 - 30	Húmedo
30 - 35	Muy húmedo
35	Torrencial

- Análisis de correlación de las series de los índices de aridez.

El nivel de asociación espacial, se examinó mediante un análisis de correlación entre pares de estaciones meteorológicas para el mismo período durante el cual las estaciones coincidían, obteniéndose una matriz con los coeficientes de correlación resultantes, eliminando aquellas estaciones que presentaron bajas correlaciones.

Con el objeto de eliminar las variaciones interanuales que en las series se aprecia como "ruido" y poder identificar claramente períodos, de condiciones climáticas extremas, se realizó una "suavización" de las series de índices de aridez utilizando la técnica de promedios móviles de 5 años, centrados en el tercer valor

(Fritz, 1989). Esto se efectúa de la siguiente forma: se calcula el promedio de los cinco primeros valores de una serie, el resultado es el primer valor de la serie suavizada y se coloca al nivel del tercer valor de la serie original; el segundo valor se obtiene al promediar los índices del segundo al sexto y se coloca a nivel del cuarto valor de la serie original y así sucesivamente. La serie representativa para la región, se obtuvo al promediar los valores de las series de las siete estaciones que presentaron una buena correlación entre si.

- Análisis de Series de tiempo

La serie obtenida puede ser analizada mediante la función de autocorrelación, un proceso utilizado para detectar patrones de periodicidad en series de tiempo. Esta función computa coeficientes de correlación entre la variable serie de tiempo y los valores de esa variable, k veces anticipados. A la medida de la anticipación se le refiere como valores retrasados de la variable. Los coeficientes de correlación son usados para detectar periodicidades (Box y Jenkins, 1976).

Posteriormente con un periodograma se pueden detectar efectos periódicos no aleatorios que la función de autocorrelación no lo hace. El periodograma es otra forma común de analizar estadísticamente los datos de series de tiempo, estimando un espectro de frecuencia. Este análisis representa la serie como una suma de sinusoides, utiliza la transformada de Fourier para calcular el promedio de la amplitud cuadrada de los sinusoides de varias frecuencias. Tanto la función de autocorrelación como el periodograma fueron realizadas utilizando el paquete estadístico Statgraphics (STSC, 1991).

- Análisis de precipitación y Temperatura

Con las mismas técnicas que se utilizaron para la obtención de la serie climatológica (serie representativa de aridez), se obtuvo una serie de precipitación y

otra de temperatura. Ambas series fueron analizadas con las técnicas de Fourier para encontrar su periodicidad y compararlas con la serie climatológica obtenida.

6.3 Resultados

- Índice de Aridez

A continuación se presentan las series de aridez obtenidas para cada estación (Figuras 13a-13i), donde se puede observar los periodos extremos y tendencias de aridez. Debido a la relación matemática propuesta por el Índice de Martonne entre temperatura y precipitación, los valores altos significan menor aridez.

Al analizar las series de aridez para cada estación, se observa que de acuerdo con la clasificación de los climas de Martonne (1926), a excepción de las estaciones de Sierra de La Laguna, San Bartolo y Santiago, la mayoría de las estaciones presentan valores correspondientes al clima semiárido, con algunos valores extremos que caen en el clima árido. La estación de Sierra de La Laguna presenta un rango amplio de valores de aridez que van, desde el clima semihúmedo hasta el torrencial; las estaciones de San Bartolo y Santiago tienen clima árido con valores extremos que caen en el clima semiárido.

Además de eso, la estación de la Sierra de La laguna se distingue también por que operó en forma intermitente provocando que la serie de aridez se vea interrumpida en dos ocasiones. Los valores extremos de aridez de cada una de las series se presenta en el Cuadro 8, mientras que su descripción detallada se presenta en el Apéndice I.

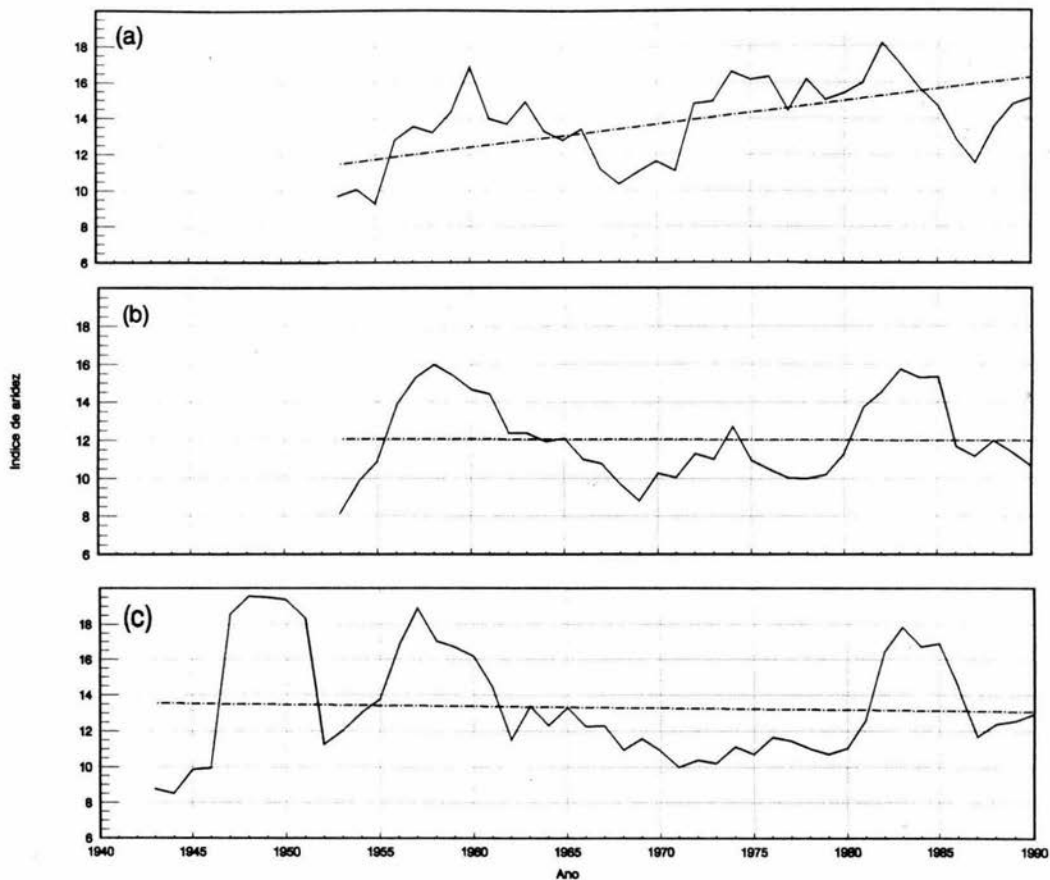
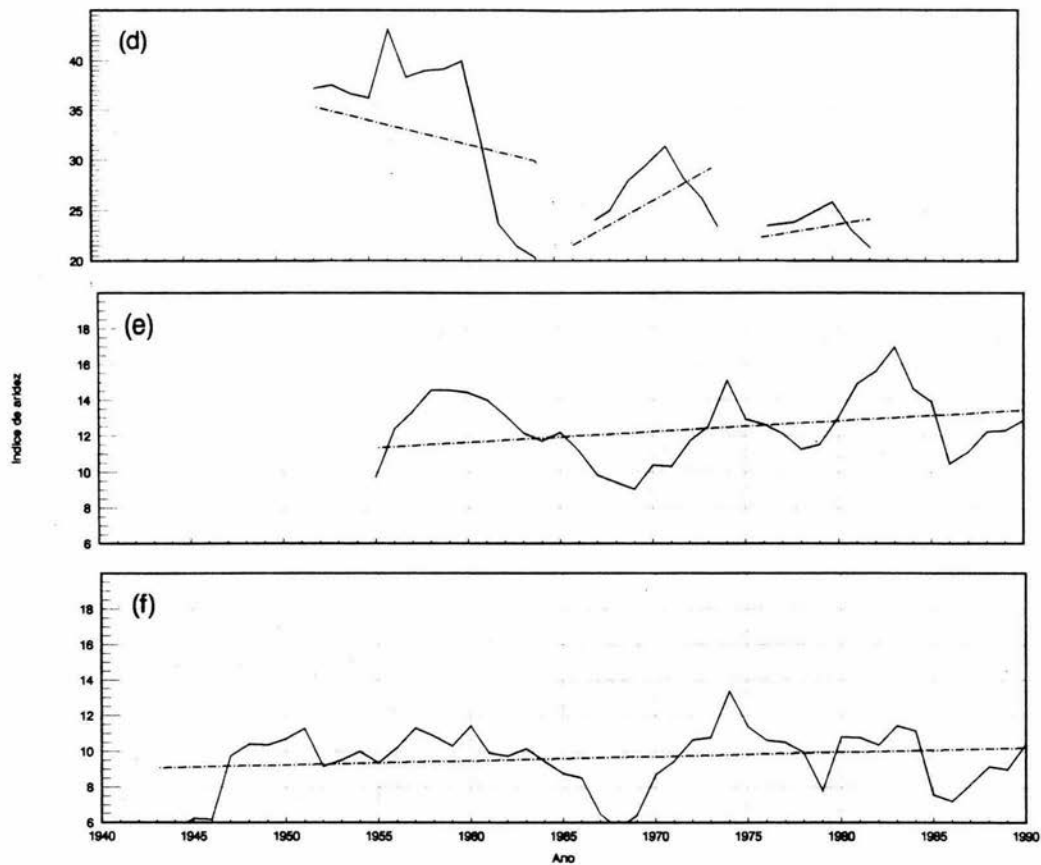
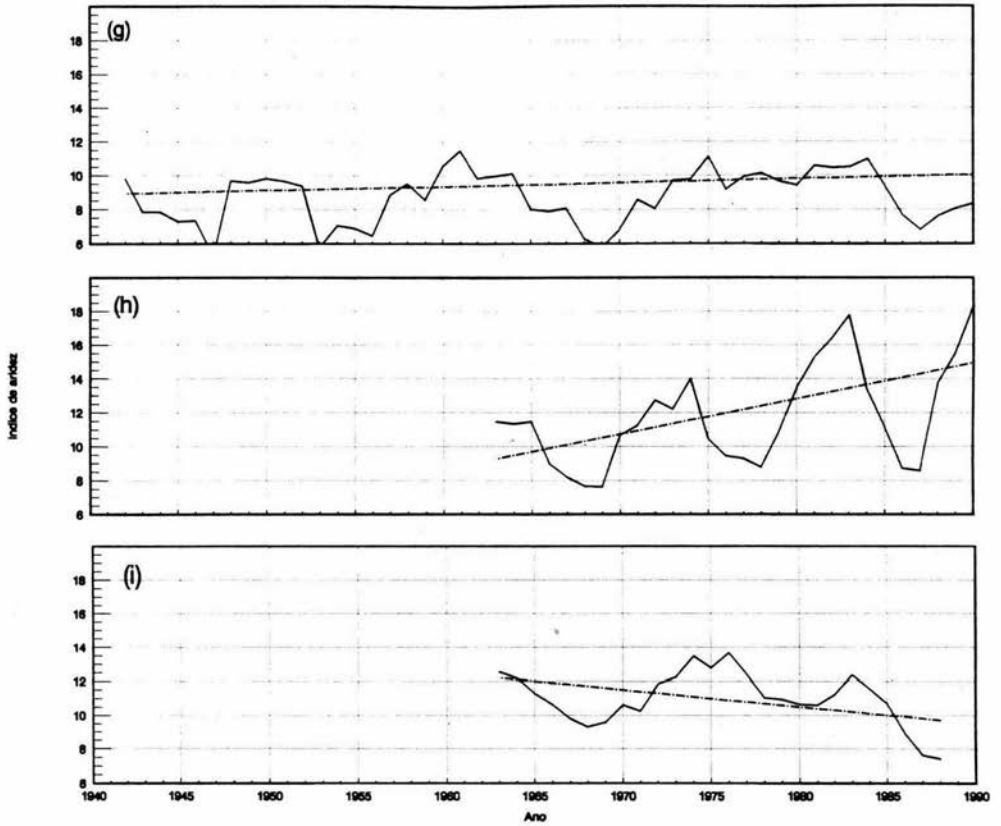


Figura 13. Series de aridez para cada estación meteorológica; las rectas indican las pendientes generales de cada serie. (a) Caduaño. (b) Los Divisaderos. (c) Santa Gertrudis.



Continuación Figura 13. Series de aridez (d) Sierra de La Laguna. (e) San Antonio. (f) San Bartolo.



Continuación Figura 13. Series de aridez (g) Santiago. (h) El Triunfo. (i) Yeneca.

Nombre de la estación meteorológica	Pendiente	Mayor aridez					Menor aridez				
		40's	50's	60's	70's	80's	40's	50's	60's	70's	80's
Caduaño	0.10	P	F	P	F		F	P	M	P	
Los Divisaderos	0	P	F	PF	P		F			P	
Santa Gertrudis	-0.03	M	M	M	F		F	PF		M	
San Antonio	0.02		F	P	M			P	M	P	
San Bartolo	0.02	P	F	F	F		F	PF	P	M	P
Santiago	0.02	P	P		F	F	F	PF	P	M	P
El triunfo	0.18		F		F					P	P
Yeneca	-0.07		F		F					M	P

Cuadro 8. años pico de mayor o menor aridez en las series obtenidas para cada estación. La P indica principios; la M, mediados y la F, finales.

- Matriz de Correlación

Se observa que a excepción de las estaciones de la Sierra de La Laguna y Yeneca, todas presentan en general buenas correlaciones entre si (Cuadro 9). La estación de la Sierra de La Laguna es la única que presenta valores negativos, mientras que con Yeneca se observan valores bajos, esto último puede deberse a que es la estación que se encuentra más al sur, ubicándose además a una baja altitud (200 m.s.n.m.). Se excluyeron estas dos estaciones para realizar la serie promedio y de acuerdo a la altitud de las estaciones involucradas, la serie representa entonces la aridez de la región media de la Sierra de La Laguna (Fig. 14).

- Serie Resultante: Características.

La serie representativa se obtuvo al promediar las series de índice de aridez de las siete estaciones que presentaron buena correlación entre si: Caduaño, Los

Divisaderos, Santa Gertrudis, San Antonio, San Bartolo, Santiago y El Triunfo. Esta serie se muestra en la Figura 14, donde se observa que los años más áridos se presentaron a mediados de los 40's, mediados de los 50's y finales de los 60's, mientras que la menor aridez ocurrió a principios de los 50's, 60's y 80's. Presenta una tendencia hacia la disminución de la aridez, encontrándose sus valores entre los correspondientes a clima árido y semiárido de la clasificación de Martonne (1926).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	**1.0 (49)								
B	**0.48 (40)	**1.0 (48)							
C	**0.20 (49)	**0.84 (48)	**1.0 (49)						
D	-0.40 (17)	0.28 (17)	**0.55 (17)	**1.0 (17)					
E	**0.78 (38)	**0.81 (38)	**0.57 (38)	0.08 (17)	**1.0 (38)				
F	**0.60 (49)	**0.43 (48)	**0.45 (49)	0.12 (17)	**0.73 (38)	**1.0 (49)			
G	**0.79 (49)	**0.52 (47)	0.21 (49)	-0.37 (17)	**0.70 (38)	**0.56 (49)	**1.0 (49)		
H	**0.59 (30)	*0.43 (29)	-0.34 (30)	**0.77 (17)	**0.61 (30)	*0.43 (30)	**1.0 (30)	(30)	
I	**0.63 (28)	0.19 (28)	0.02 (28)	-0.47 (28)	*0.48 (17)	**0.69 (28)	**0.67 (28)	0.29 (28)	**1.0 (28)

Cuadro 9 Matriz de correlación de los promedios móviles de los índices de aridez. A, Caduaño. B, Los Divisaderos. C, Santa Gertrudis. D, Sierra de La Laguna. E, San Antonio. F, San Bartolo. G, Santiago. H, El triunfo. I, Yeneca.

Entre paréntesis esta el número de años que se correlacionaron.

* correlación con un nivel de significancia del 95%.

** correlación con un nivel de significancia del 99%.

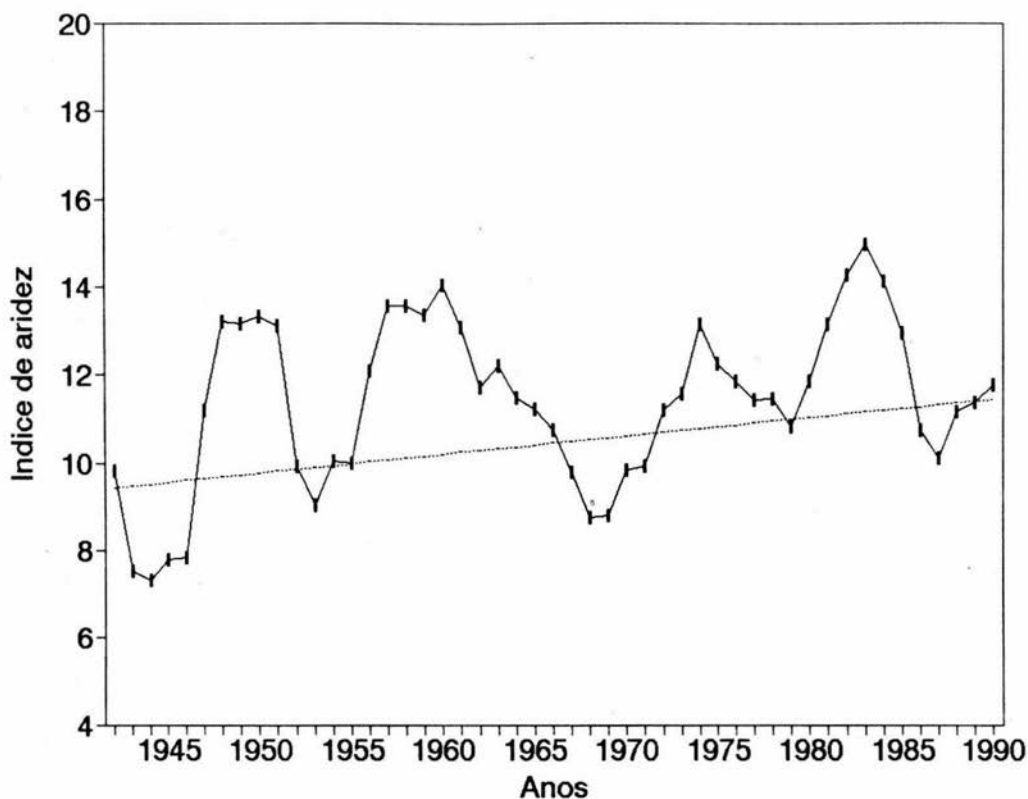


Figura 14. Serie climatológica que representa la parte media de la Sierra de La Laguna. La línea recta es la pendiente general de la serie.

- Análisis de autocorrelación

La evaluación de las series de tiempo propone la autocorrelación como primer paso para identificar posibles señales periódicas del fenómeno analizado, en este caso la aridez. En la Figura 15, se pueden observar los resultados del análisis de autocorrelación de la serie promedio propuesta para la región de la Sierra de la Laguna. Las barras verticales de la gráfica de la función de autocorrelación representan la correlación de retraso desde uno, al máximo retraso especificado (45). La altura de

las barras representa los coeficientes de correlación estimados y el par de líneas punteadas muestra dos veces el error estandar de cada coeficiente; estas fronteras son útiles para determinar el retraso más allá del cual las correlaciones son significativamente diferentes de cero. Se distinguen dos grupos de valores de alta correlación, los cuales están marcados por presentar un nivel de significancia del 95% (en la gráfica aparecen con un asterisco). Dadas las características de este tipo de análisis, entre mayor sea el retraso analizado, las correlaciones van perdiendo sentido. Por ello, se considera que el valor extremo que se presenta alrededor de los 24 años es el más importante de resaltar. Esta señal coincide aproximadamente con el doble ciclo de las manchas solares, que ocurren cada 24 años, reportado en la literatura (Stockton y Meko, 1975; Padmanabhan y Ramachandra, 1990). Aunque no es significativo en el análisis de autocorrelación, entre los tres y ocho años se presenta una pequeña señal que pudiera tener importancia para la serie.

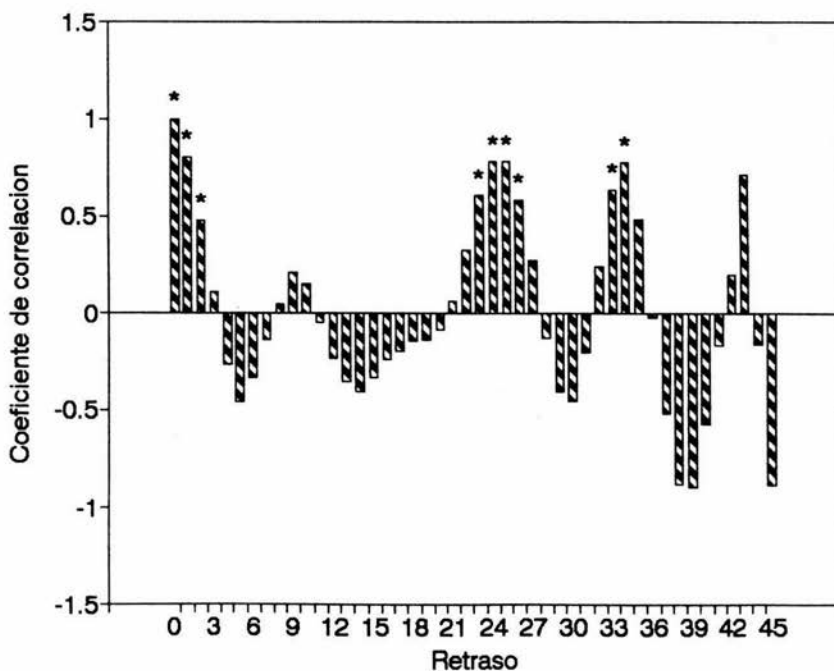


Figura 15. Resultado del análisis de autocorrelación; los asteriscos indican los coeficientes de correlación que son significativos.

- Análisis de Fourier: Periodograma.

Debido a que en la literatura especializada se ha mostrado la relación existente entre distintos fenómenos periódicos como el ENSO (El Niño-Southern Oscillation), manchas solares, etc. y los campos de precipitación y tormentas tropicales (Ropelewski y Halpert, 1987; Reyes-Coca *et al.*, 1988; Salinas-Zavala *et al.*, 1990), se decidió examinar la serie propuesta de aridez para la Sierra de La Laguna con la técnica de análisis de Fourier, particularmente la obtención del periodograma, el cual define las frecuencias fundamentales presentes en la serie.

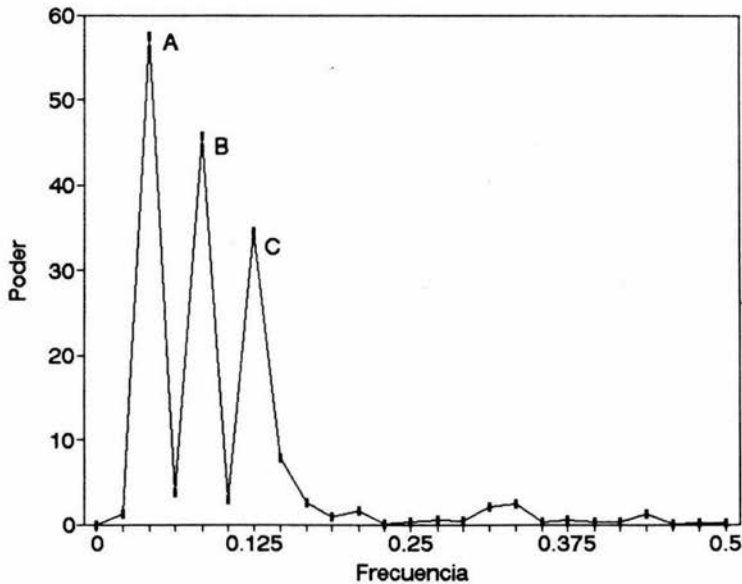


Figura 16. Periodograma de la serie climatólogica, mostrando las frecuencias fundamentales: A, indica una periodicidad de 24 años; B, 12 años y C, 8 años.

La Figura 16 representa el periodograma de la serie representativa, las amplitudes se muestran a lo largo del eje de las ordenadas, mientras que las frecuencias, expresadas en ciclos por intervalo en el eje de las abscisas. En esta figura se pueden apreciar tres valores extremos: el más grande con una frecuencia (f) de 0.04167 ciclos/intervalo, que indica una periodicidad ($1/f$) de 24 años (frecuencia fundamental); el segundo con una frecuencia de 0.08333 ciclos/intervalo indica una periodicidad de 12 años y el tercer valor con una frecuencia de 0.125 ciclos/intervalo muestreado, indicando una periodicidad de 8 años.

- Análisis de Precipitación y Temperatura.

Para comparar independientemente la precipitación y la temperatura con la serie climatológica, se obtuvieron sus series correspondientes y al realizar los periodograma se encontró para la serie de precipitación, los mismos valores extremos de frecuencia de las ordenadas que en el caso de la serie climatológica, indicando una periodicidad fundamental de 24 años siendo las siguientes de 12 y 8 años (Fig 17). En contraste las frecuencias fundamentales que se obtuvieron para la serie de temperatura indican una periodicidad de 48, 12 y 16 años, respectivamente (Fig. 18).

6.4 Discusión y Conclusiones

En cuanto a la calidad de la información analizada podemos mencionar que las estaciones meteorológicas tienen poco tiempo de estar operando (a partir de 1946 en promedio) y su funcionamiento no se ha dado en óptimas condiciones debido a la falta de mantenimiento adecuado. Sin embargo, sólo hubo un 2 % de datos faltantes de un total de 4068 utilizados para obtener las series. No obstante, en comparación con otros estados del noroeste de México, a las estaciones de Baja California Sur se les ha reconocido su veracidad.

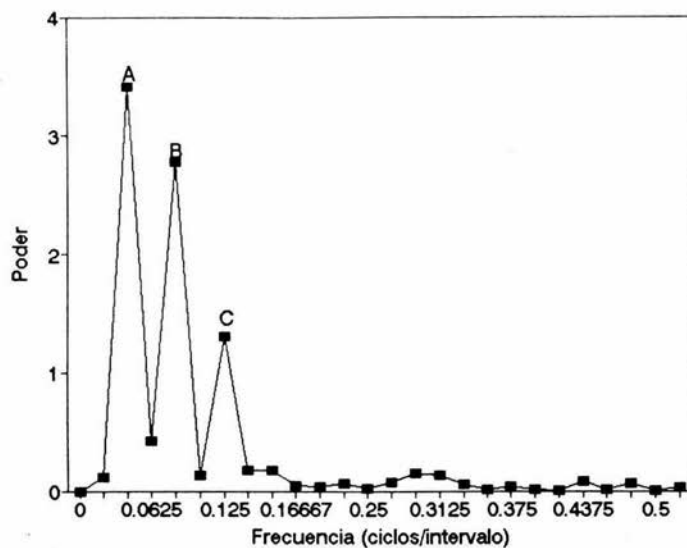


Figura 17. Periodograma de la serie de precipitación; el valor extremo señalado con A, indica una periodicidad de 24 años; B, 12 años y C, 8 años.

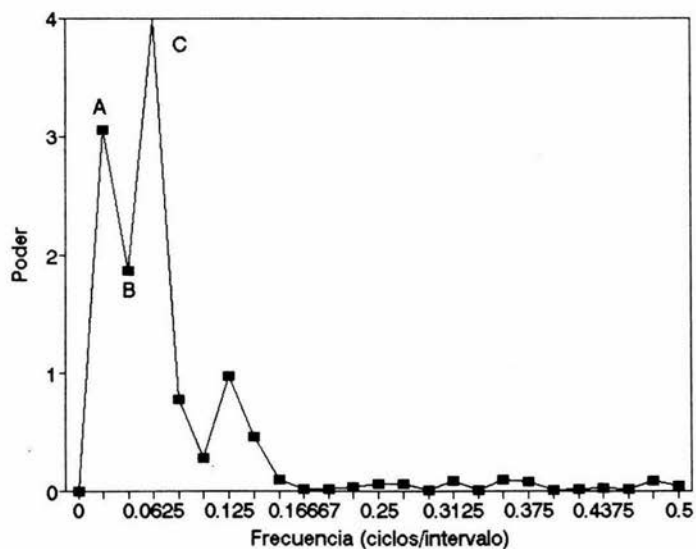


Figura 18. Periodograma de la serie de temperatura; el valor señalado con A, indica una periodicidad de 48 años; B, 16 años y C, 12 años.

Es necesario resaltar el hecho de que la variabilidad observada entre las estaciones es producto de la ubicación geográfica de la Sierra, ya que aunque se encuentra bajo una mayor influencia del componente tropical, también recibe influencia del sistema climático de origen templado localizado en el Pacífico nororiental (Hasting, 1964; García y Mosiño, 1968; Salinas-Zavala *et al.*, 1988). Por otro lado, la enorme fluctuación del clima es característica de las zonas áridas (Inouye, 1991) y las estaciones meteorológicas utilizadas registran un clima de este tipo.

Así pues, aunque se presentan variaciones entre las estaciones meteorológicas y estas se encuentren ubicadas a diferentes altitudes, el patrón general de cambio climático las afecta similarmente, apreciándose esto en los resultados obtenidos con la matriz de correlación, ya que se pudo observar que las estaciones presentan buena correlación entre sí, aun cuando los datos no fueron linearizados previamente, como lo sugiere Allen (1989).

Como se ha manifestado en otros estudios una posible relación del ENSO con la precipitación pluvial en la península (Reyes-Coca y Rojo-Salazar, 1985), se esperaba encontrar que la señal correspondiente a la periodicidad que presenta este fenómeno (de 2 a 8 años), se manifestara de forma significativa en la aridez para la parte sur del Estado, pero eso no ocurrió ya que las principales periodicidades encontradas fueron de 24, 12 y 8 años. Esto concuerda con lo observado por Salinas-Zavala, *et al.* (1990), quienes mencionan que al norte del estado de B.C.S. las lluvias dominantes ocurren durante el invierno y cuando se presenta un fenómeno tipo ENSO se acentúan las lluvias estivales.

Los resultados obtenidos muestran que el ciclo de 24 años aparece como significativo en los dos análisis realizados, tanto en el de autocorrelación, como el periodograma. Esta periodicidad coincide con el doble ciclo de las manchas solares, un fenómeno que se manifiesta en la tierra como un aumento de la radiación solar, y tormentas geomagnéticas (Bartusiak, 1989). Ya que el sol es el principal determinante

del clima de la tierra, es lógico esperar que los cambios que ocurran en él repercutan en nuestro planeta haciéndose presentes en los registros climatológicos de estaciones meteorológicas.

Pese a los períodos de aridez que se observan en la serie representativa de las partes medias de la Sierra, la tendencia general de la serie es hacia la disminución de la aridez. Es decir, los registros muestran que, dentro del periodo analizado las precipitaciones pluviales se han incrementado.

En esta parte media de la sierra, la vegetación corresponde a una selva baja caducifolia, con dominancia de especies subtropicales como *Lysiloma divaricata* y *Plumeria acutifolia*, así como también hay presencia de especies características de ambientes más desérticos (Arriaga y León, 1989). De seguir comportándose los factores climáticos hacia la disminución de la aridez, podrían esperarse tres tipos de escenarios hipotéticos: 1) que poco a poco las especies subtropicales, que en la actualidad conviven con especies desérticas, encuentren una mayor densidad y distribución en la región, invadiendo áreas donde ahora existe vegetación del tipo del desierto sonorense; 2) que las especies resistentes a condiciones de sequía, al incrementarse la humedad en el ambiente, dentro de los límites adecuados para ellas, incrementen su productividad y densidad, tal y como lo señala J. Macmahon (1979) y, 3) que tanto el escenario 1 como el 2 se presenten como resultado de un período transicional en el clima, hasta alcanzar un nivel estructural, tal que una de las dos domine espacialmente. Cualesquiera de los escenarios propuestos, presupone el aumento de la cobertura vegetal para los próximos años en la región de la Sierra de la Laguna, derivado de condiciones climáticas más húmedas.

En escala geológica, Axelrod (1979), Gentry (1982) y Spaulding y Graumlich (1986), postulan que la tendencia general es hacia una mayor distribución de las especies características de zonas desérticas; sin embargo, sus estudios están realizados en escalas de tiempo mucho mayores que la de este estudio, el cual se ha

definido dentro de la escala de tiempo de décadas. Es decir las fluctuaciones y tendencias mostradas aquí bien podrían estar inmersas dentro de un intervalo de tiempo mayor, que fuera hacia el incremento o el decremento de condiciones de aridez.

Para validar la tendencia de la serie a la disminución de la aridez se propone la realización de estudios a futuro que involucren ya sea estudios fitogeográficos, indicadores de cobertura vegetal derivados de registros de satélites, u otros como es el caso del análisis dendrocronológico, como el que se realiza en el siguiente capítulo.

7. ANALISIS DENDROCRONOLOGICO Y DENDROCLIMATOLOGICO

7.1 Introducción

La palabra dendrocronología proviene de las raíces griegas *Dendro* que quiere decir árbol, *Cronos* que se refiere al tiempo y *Logos* estudio. Esta disciplina está caracterizada por el uso sistemático del "fechado-cruzado" en los anillos de crecimiento que presentan en la sección transversal algunos árboles; un procedimiento que utiliza la variabilidad de las características de estos anillos para establecer el año exacto en el cual un anillo fue formado (Ferguson, 1970).

La serie de anillos exhiben variabilidad cuando el árbol forma un solo anillo por temporada de crecimiento y existe un factor ambiental dominante que limita su crecimiento, aunque se sabe que éste es el resultado de la interacción de muchos factores genéticos y ambientales. El factor climático dominante en el crecimiento debe variar en intensidad de un año a otro, para que los anillos formados reflejen fielmente tal variación (Rueda, 1983), ya que los procesos fisiológicos de crecimiento de los árboles se pueden alterar formando anillos anuales de crecimiento de diferente anchura y de diferente densidad, respondiendo de forma similar los individuos de la misma especie (Norton y Ogden, 1987).

Los árboles, además de responder a eventos climáticos como las sequías, también lo hacen al impacto de fuegos, heladas, inundaciones y ataques por insectos, sucesos que pueden ser calibrados con las variaciones en los anillos de crecimiento, estimando su frecuencia e intensidad (Rincón y Huante, 1989), de ahí que la dendrocronología pueda tener muy diversas aplicaciones.

El término dendroclimatología se utiliza comúnmente para referirse a estudios dendrocronológicos de fenómenos climáticos (Fritts y Swetnam, 1989). Este tipo de estudios son de gran utilidad, ya que algunos árboles como las coníferas llegan a ser muy longevos, como es el caso de *P. aristata* que puede vivir hasta 4600 años (Schulman, 1958 citado por Mirov, 1967) y el análisis de los anillos nos permite correlacionar su crecimiento con las variaciones climáticas que prevalecieron durante su formación, mientras que los registros climáticos de las estaciones meteorológicas con frecuencia datan de tan solo unas décadas atrás (Díaz *et al.*, 1994). Si se intentaran realizar estimaciones de climas futuros para una región basados únicamente en esos datos, los resultados obtenidos no serían muy confiables; sin embargo con el clima reconstruido a partir del análisis dendroclimatológico se puede contar con un ámbito más amplio de datos que nos ayuden a predecir el clima. Este aspecto sería de utilidad para la programación de actividades agropecuarias y pesqueras; por ejemplo, en la península de Baja California se ha visto que los eventos climáticos que se presentan, rigen de manera importante la productividad de algunas pesquerías (LLuch *et al.*, 1991).

De esta forma, el realizar un estudio dendrocronológico en el estado de Baja California Sur sería de gran utilidad y es posible llevarlo a cabo ya que se cuenta con una población de pinos cuya longevidad revasa los 150 años (ver capítulo 4), en las partes elevadas de la Sierra de La Laguna, y su ubicación, según Stockton *et al.* (1985), está en los límites de las latitudes recomendadas para realizar estudios dendrocronológicos.

De acuerdo con lo anterior, surgen las siguientes interrogantes a resolver en el presente capítulo: 1. ¿Son los pinos de la sierra, lo suficientemente sensibles para registrar los cambios climáticos en sus anillos de crecimiento? 2. ¿Existe una buena correlación entre la serie dendrocronológica y la serie climatológica? 3. ¿Es posible efectuar una reconstrucción climática basada en la serie dendrocronológica? 4. ¿Si el rango de datos climatológicos se ampliara, presentaría éste periodicidades

dominantes que sirvieran de base en la elaboración de un modelo de predicción climática?

Finalmente la realización de este estudio dendrocronológico pretende además de dar respuesta a las interrogantes planteadas anteriormente, proveer de una perspectiva regional y cronológica, que sirva de apoyo para el manejo de los recursos naturales del área.

7.2 Metodología

En el bosque de encino-pino de la Sierra de La Laguna, se seleccionaron cuatro sitios distantes pero con condiciones homogéneas (ver capítulo 3). Se realizó de esa forma para que las condiciones ambientales que limitan el crecimiento de los árboles sean las mismas o similares y los patrones de anchura de los anillos de crecimiento de los diferentes pinos puedan ser comparados (LeMarche, 1982; Swetnam *et al.*, 1985).

De acuerdo con Fritts y Swetnam (1989), tomar muestras de diez pinos es un tamaño de réplica adecuada para coníferas que crecen en sitios semiáridos como el suroeste de Estados Unidos. También estos autores señalan que al aumentar el número de replicas se minimiza el "ruido" en una cronología. Con estos antecedentes se decidió seleccionar 20 pinos en cada sitio.

- Selección y obtención de las muestras

Para obtener una serie de secuencias de anillos lo más larga posible ya que son las recomendadas para realizar reconstrucciones climáticas, se seleccionaron a los pinos más viejos y vigorosos (Fritts y Swetnam, 1989). Estos se pueden identificar

usualmente por ser los más altos, presentar mayor DAP, ramas más pesadas o parte de sus ramas basales muertas (LaMarche, 1982). Así como también se cuidó que los árboles no tuvieran cicatrices de incendios o presentaran indicios de estar parasitados por insectos, para evitar "ruido" en los patrones de anchura de los anillos de crecimiento.

Con la ayuda de un taladro Pressler se obtuvieron de cada pino, dos núcleos perpendiculares al tronco, a la altura del pecho (1.35 m): uno en el sentido de la pendiente y el otro en forma perpendicular al primero, de acuerdo como lo sugieren Swetnam *et al.* (1985). Posteriormente se taparon los horificios que quedaron al tomar las muestras con cera de campeche para evitar el ataque por hongos o insectos. Con el uso del microdendrómetro se hicieron mediciones mensuales del incremento radial de cada árbol, para ajustar los datos obtenidos a una curva de crecimiento y con esto conocer las épocas, durante las cuales el árbol forma las maderas temprana y tardía.

- Montaje

Los núcleos se enderezan antes de ser montados, con la ayuda de una corriente de vapor y un poco de torsión, hasta que las fibras del núcleo se ven paralelas. Los núcleos se montan horizontalmente en bases individuales de madera, pegándolos con goma soluble en agua y atándolos hasta que la muestra se seque. Todo esto con el objeto de permitir pulir las muestras y poder discernir más claramente los límites de los anillos de crecimiento (Swetnam *et. al*, 1985).

- Fechado cruzado

Con el fechado cruzado se debe detectar y corregir cualquier falta de sincronía debida a anillos ausentes o falsos, o a errores de observación o conteo; esto se realiza con la formación del "esqueleto" de cada muestra, que es una técnica un tanto

subjetiva consistente en marcar con lápiz líneas verticales sobre una tira de papel, siendo la altura de la línea inversa a la anchura de cada anillo en comparación con los anillos vecinos, lo que se hace con la ayuda de un estereoscopio. De esta forma se comparan los esqueletos de las muestras, asegurándose que todos los anillos sean localizados correctamente en el año de su formación, aunque los anillos tengan diferente anchura absoluta; esto es posible debido a que durante años de poco crecimiento, las mismas condiciones limitantes afectaron una población en una región específica, produciendo variaciones sincrónicas en la estructura de los anillos (Schweingruber, 1989). Posteriormente, se construye un "esqueleto" maestro para el sitio al obtener un promedio visual de la longitud de las líneas de los esqueletos de todas las muestras y de esta forma ya se puede asignar la fecha a los anillos (Swetnam *et. al.*, 1988). La realización de esta técnica fue un tanto complicada por la presencia de numerosos anillos falsos. Así también en algunas muestras, los anillos de crecimiento no eran muy aparentes, por lo que se tuvieron que descartar (aproximadamente el 10% de las muestras). El fechado cruzado se revisó nuevamente usando la serie de programas de computadora Dendrochronology Program Library del International Tree-Ring Data Bank (Holmes, 1992).

- Medición de los anillos de crecimiento

Para medir los anillos de una forma eficiente y precisa, se utiliza una plataforma deslizable micrométricamente, conectada en interfase con una computadora. La muestra se observa con un microscopio en uno de cuyos oculares se encuentra una cruz, que nos sirve para alinear uno de los límites de un anillo; posteriormente, se mueve la muestra con la plataforma hasta que la cruz coincide con el siguiente límite del anillo y la distancia recorrida por la plataforma se va registrando en la computadora (Swetnam *et al.*, 1988).

- Estandarización

Los árboles presentan cambios en los anillos de crecimiento debido a factores intrínsecos, como son la edad y la geometría del árbol, de tal manera que los anillos cercanos al centro, los primeros en formarse, son generalmente más anchos que los formados años después cuando el diámetro y la edad del árbol aumentan; por lo que las series de las medidas de los anillos tienen que estandarizarse para quitar este efecto. La estandarización se realiza por medio de un ajuste a una curva exponencial negativa o con una regresión simple, según los requerimientos de cada serie.

Los coeficientes de las ecuaciones se aplican a los datos para obtener una serie estimada, que al dividir los datos observados entre los estimados por el modelo nos da un índice. La serie de índices de una muestra puede entonces ser promediada con las otras series de índices, para obtener la cronología maestra (Fritts, 1982). Esto se realizó con la serie de programas computacionales Dendrochronology Program Library (Holmes, 1992).

- Comparación con otras cronologías

Con el objeto de ver si existía relación entre la cronología maestra obtenida con otras cronologías, se comparó la cronología obtenida con las cronologías del Norte de la Península de Baja California y del Sur del Estado de California, en E.U.A. Las comparaciones se hicieron a través de correlaciones.

- Calibración y Verificación

La calibración es el proceso estadístico en el cual los datos de la cronología maestra son comparados con algún factor ambiental, en este caso con la serie climática obtenida en el capítulo anterior, para el período en el que ambas series

coincidan. En este punto se examinan varios modelos con el objeto de encontrar aquel que muestre un mejor ajuste estadístico.

La verificación es el proceso por el cual se prueba que tan reales son los datos climáticos calculados comparados con los datos climáticos observados. Los datos climáticos calculados son los que se obtienen al utilizar la cronología y los coeficientes del modelo seleccionado, mientras que los datos climáticos observados son los índices de aridez de la serie climática. Con el objeto de ver cual de las dos variables climáticas (precipitación y temperatura) utilizadas en el índice de aridez contribuye con mayor peso relativo a la correlación de la serie climática con la cronológica, se compararon independientemente cada serie con la cronología.

- Reconstrucción climática

El modelo obtenido en la sección anterior se utiliza para reconstruir el clima basándose en la serie cronológica, por lo que la reconstrucción parte del año al que llega la cronología.

- Modelo de predicción

Para la obtención del modelo de predicción, se requiere primero analizar la presencia de posibles ciclos periódicos que se den en la serie total de aridez, mediante el análisis de Fourier con la obtención del periodograma (capítulo 5) y posteriormente las frecuencias fundamentales se utilizan para la obtención del modelo de predicción.

7.3 Resultados

Las mediciones del incremento radial, hechas con el microdendrómetro, se ajustaron a una función logística (Fig. 10, capítulo 3); de acuerdo con ésta se deduce que en el crecimiento anual de *Pinus lagunae* hay una clara distinción entre la madera temprana y la tardía. La madera temprana se produce de mayo a octubre que es cuando las condiciones ambientales locales son más propicias para el crecimiento del árbol, mientras que la madera tardía se da de noviembre a abril.

- Cronología Maestra

La Cronología maestra obtenida a partir del análisis dendrocronológico de 160 muestras, abarcó un período que va de 1805 a 1990, mostrándose estos resultados en la Figura 19. De acuerdo con esta gráfica, se puede observar que se presentan valores bajos extremos alrededor de 1815, 1830's, principio de los 1870's, 1887, 1956, 1971 y 1980 indicando entonces que en esos años se formaron anillos más angostos de crecimiento en los pinos de La Sierra, debido probablemente a condiciones climáticas adversas.

- Comparación con otras cronologías

La cronología obtenida fue comparada con otras cronologías existentes al Norte de la Península: 3 en San Pedro Martir en el estado de Baja California, México y 3 al Sur de California en Estados Unidos (San Gorgonio, Sur de California y Santa Ana), pero en todos los casos se observó una $r^2 < 0.1$

Cronología maestra

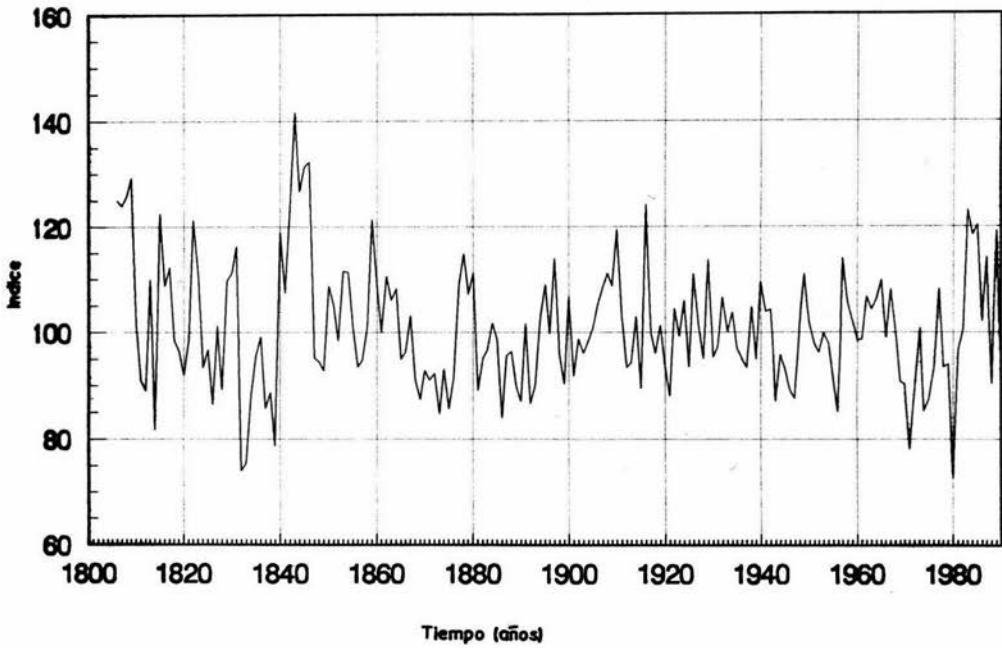


Figura 19. Cronología maestra para *P. lagunae* en la Sierra de la Laguna

- Calibración y Verificación

La cronología obtenida y las series de aridez, temperatura y precipitación se utilizaron para buscar una posible relación entre el crecimiento de los pinos y las variables meteorológicas. Para la regresión lineal, primero se revisó que las series tuvieran una distribución normal, encontrándose que en la serie dendrocronológica, cinco valores se salían de la distribución por lo que fueron sustituidos con el valor obtenido al promediar cada valor con los cuatro valores cercanos a él en la serie.

Se probó con la regresión lineal múltiple utilizando la cronología desfasada un año como variable dependiente y la precipitación, temperatura y aridez como variables independientes, encontrándose que solo la precipitación ($r=0.362$) y la aridez ($r=0.523$) tuvieron una correlación significativa. Sin embargo, la correlación casi no cambió cuando se realizó la correlación múltiple con estas dos variables ($r=0.524$) y el coeficiente beta para la precipitación no fue significativo. Por lo anterior, se decidió utilizar un modelo de regresión lineal simple entre la aridez y la cronología, obteniéndose los coeficientes del siguiente modelo:

$$Y = 2.988 X + 65$$

siendo $Y =$ Cronología, $X =$ Índice de Aridez con una correlación r de 0.523, g.l. = 48 y $p < 0.0386$ (Figura 20).

Como el modelo de regresión supone que las relaciones entre las variables tienen una distribución normal, se probó esto al utilizar la gráfica de la distribución normal de los residuales con valores normales esperados y no se encontraron violaciones severas a los supuestos del modelo. Además se graficaron los residuales contra los residuales eliminados (por ejemplo el residual de un valor particular cuando la regresión se hace sin ese valor) y no se encontró gran diferencia entre los residuales y los residuales ausentes para cualquier valor (Figs 21 a y b).

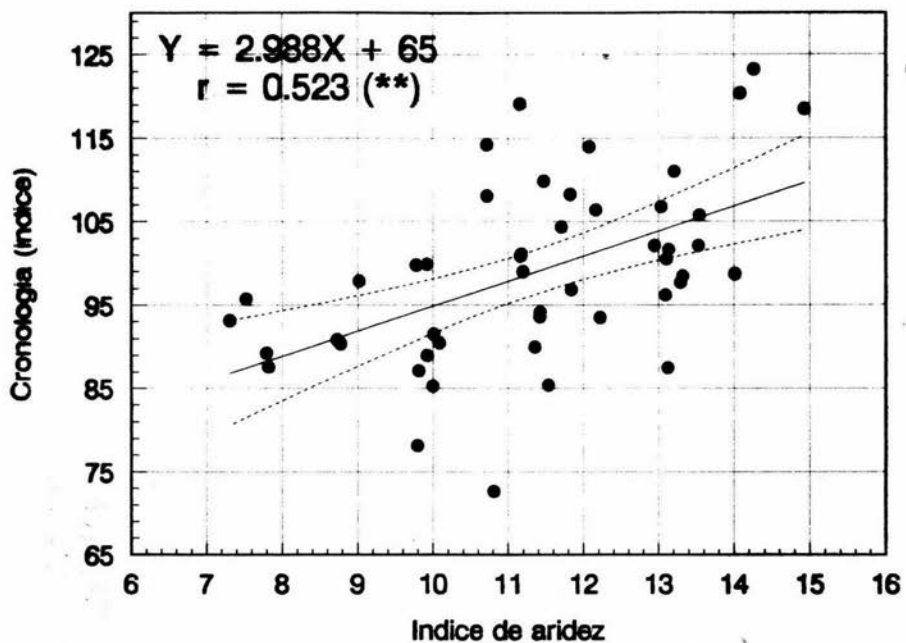


Figura 20. Modelo de regresión entre el índice de aridez y la cronología maestra. Los asteriscos indican un nivel de significancia del 99%

Analisis de residuales

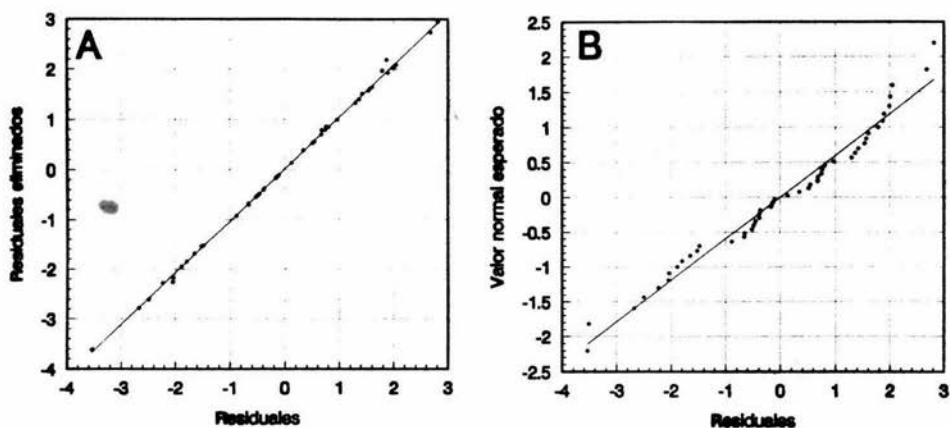


Figura 21. Resultado del análisis de residuales. A, se grafica el valor de los residuales contra los residuales eliminados. B, los residuales contra el valor normal esperado.

El modelo de regresión obtenido al relacionar la serie climática con la cronológica, en lo que se conoce como función de transferencia, se utilizó en la verificación para obtener la serie climática calculada y compararla con la serie climática observada durante el periodo de 1940 a 1989, como se muestra en la Figura 22a. Aunque la correlación entre cronología y aridez no fue muy alta, se observa similitud en la tendencia de la aridez entre décadas para las dos series de aridez, la observada y la calculada, tal como es la tendencia a elevar los valores del índice de aridez a mediados de los 1940's y mediados de los 1950's; la tendencia a bajar a finales de los 1960's, a subir a principios de los 1980's y a bajar a finales de 1980's.

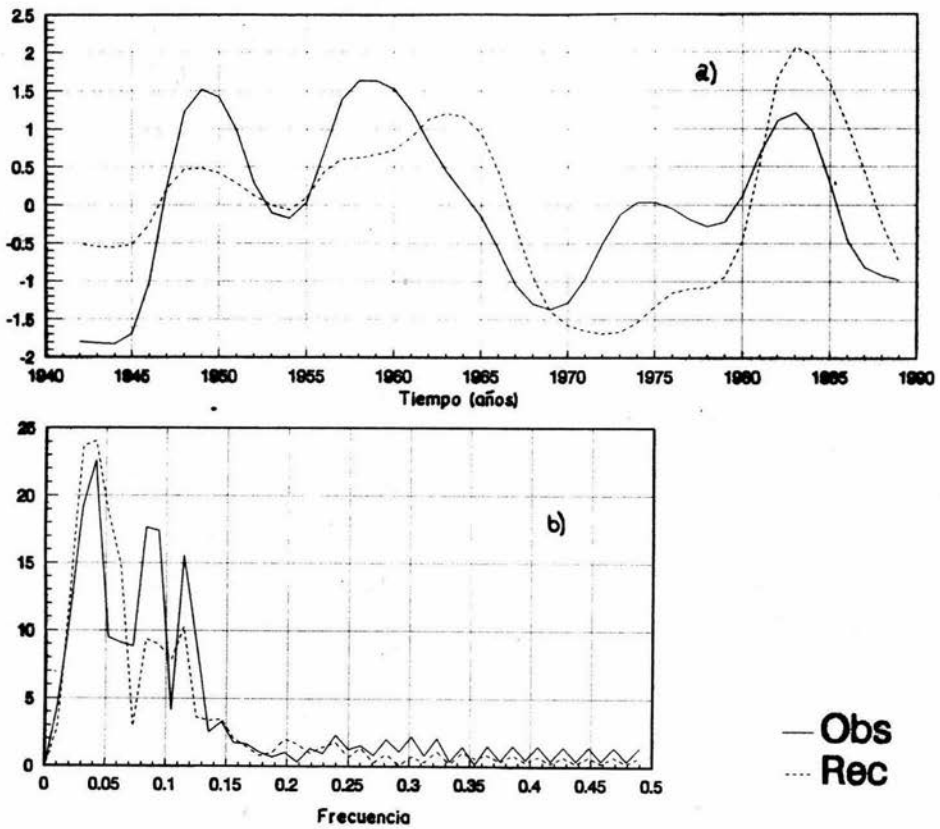


Figura 22. Verificación. a) Comparación de la serie climatológica observada (Obs) con la calculada (Rec) por medio de la función de transferencia. b) Periodograma de ambas series.

Se calculó el periodograma de la serie de aridez calculada para compararlo con el obtenido en el capítulo anterior y se observa (Figura 22b) que ambas series presentan un componente importante con una frecuencia de 0.04 (24 años). Sin embargo, la reconstrucción no reproduce de igual forma los otros dos ciclos de más alta frecuencia que sí se presentan en la aridez observada (0.085 y 0.115, equivalentes a 12 y 8 años).

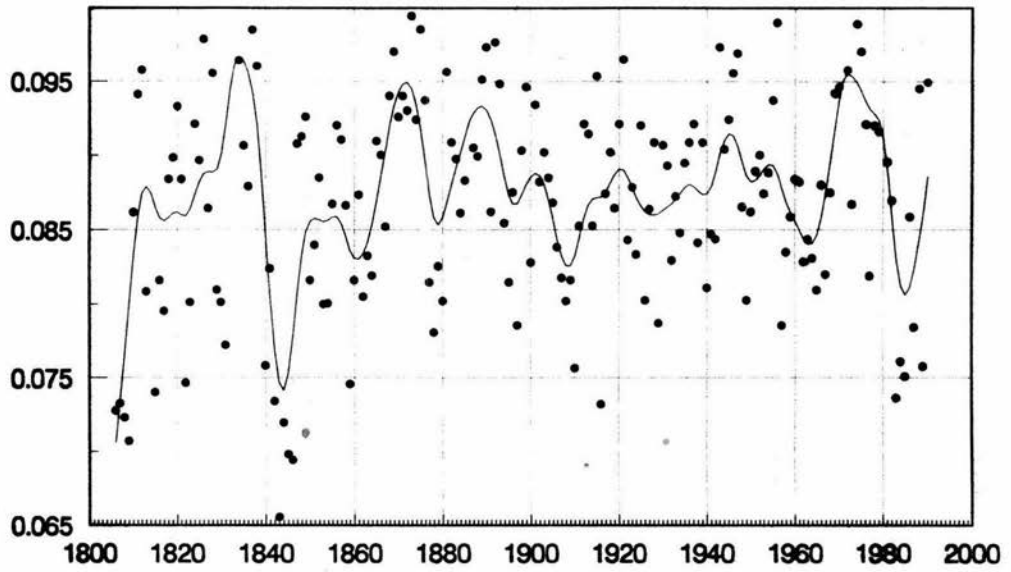
- Reconstrucción climatológica

Con las características del modelo obtenido, se realizó la reconstrucción climatológica para los últimos dos siglos (1800 a 1990), basados en los datos dendrocronológicos (Figura 23). La serie obtenida muestra características interesantes, como un período de alta variabilidad de 1810 a 1890 con valores altos de aridez; este período se ve interrumpido por unos años de baja aridez a mediados de los 1840's. A partir de 1900 hasta mediados de los 1950's hay un período remarcablemente estable con valores intermedios de aridez. Para años más recientes se ha observado lapsos de alta variabilidad con bajos valores de aridez a mediados de los 1960's, un máximo a principios de los 1970's y un mínimo a mediados de los 1980's.

- Modelo Predictivo

A la serie climática reconstruida que va de 1804 a 1990, se le quitó la tendencia y se estandarizó, quedando como se muestra en la Figura 24a. Al realizar el periodograma con esta serie (Fig. 24b) se obtienen 6 valores de frecuencias fundamentales que corresponden a 46, 37, 28, 20, 20 y 18 años. También se puede observar que se presenta mucho "ruido rojo" (numerosos ciclos de baja frecuencia que explican individualmente una proporción alta de la variabilidad de la serie). Debido a esto, realizar un modelo de predicción climática utilizando únicamente las 6 frecuencias más importantes dejaría sin incluir mucha de la variabilidad de la serie.

Reconstrucción de la Aridez



— Suavizados

Figura 23. Reconstrucción climatológica. Los puntos indican los valores inversos de la aridez y la línea continua la serie suavizada (promedio móvil).

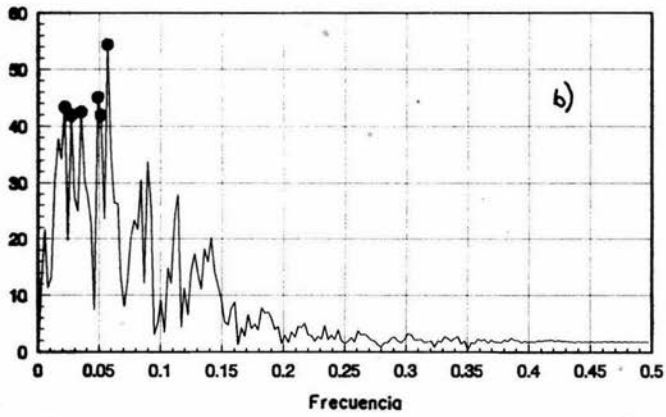
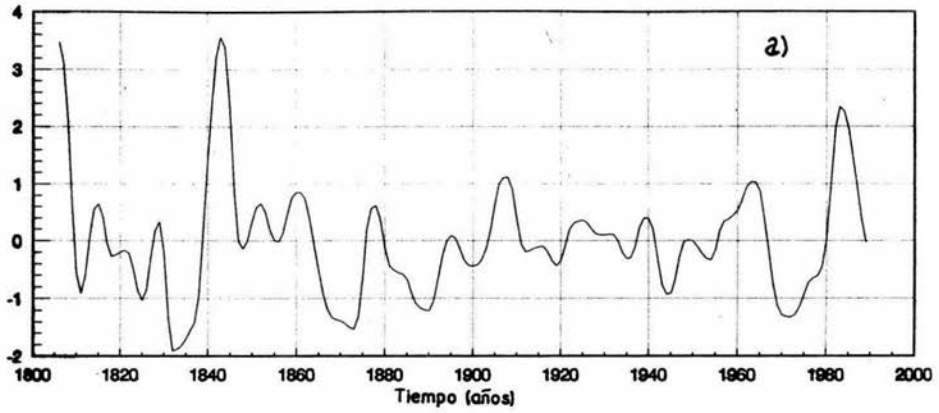


Figura 24. a) Representación de las anomalías en la aridez para la serie climatológica reconstruida. b) Periodograma de la serie que muestra con los puntos las periodicidades fundamentales

7.4 Discusión y Conclusiones

Las series históricas de registros climáticos largos en el mundo, desafortunadamente están restringidas geográficamente al oriente (China y Japón) y al oeste de Europa, mientras que en el resto del mundo la reconstrucción del cambio climático global depende casi por entero de registros aproximados (Thompson y Mosley-Thompson, 1985), que se obtienen de:

- a) Núcleos de hielo.- por medio del análisis de concentración de micropartículas, conductividades e isótopos de oxígeno.
- b) Sedimentos de lagos.- usando radiocarbón o laminaciones anuales. En particular el polen fósil ha sido usado para documentar tendencias en el clima de hasta 9000 años (Overpeck, 1985).
- c) Sedimentos de cuerpos de agua dulce poco profundos.- por los fósiles de coleópteros que están restringidos a condiciones de vida bien definidas (Coope, 1985).
- d) Anillos de crecimiento de árboles.- por medio del análisis dendroclimatológico de la densidad o anchura de los anillos.

De acuerdo con las opciones antes mencionadas para obtener registros climáticos pasados aproximados, la mejor alternativa para Baja California Sur, al no tener glaciales, lagos, ni cuerpos someros de agua dulce permanente, son los estudios dendroclimatológicos que relacionan los anillos de crecimiento de algunos árboles con el clima que prevaleció durante su formación.

Se ha observado que la precipitación es el factor climático dominante en el crecimiento de los árboles para el suroeste de Estados Unidos (Fritts *et al.* 1965).

Este resultado concuerda con la existencia de una mejor correlación de la serie dendrocronológica con la serie de precipitación observada en los resultados.

La correlación que se obtuvo entre la cronología y la serie climatológica fue significativa aunque su coeficiente de correlación no fue muy alto ($r = 0.523$, g.l. = 48 y $p < 0.0386$), lo que hace pensar en las siguientes limitaciones que se tienen en cuanto a datos y metodología para realizar una mejor reconstrucción climática:

- Ya que el patrón de cambio climático afecta similarmente a un área determinada y como no existen registros continuos de precipitación y temperatura en el bosque de la Sierra de La Laguna, se decidió utilizar los registros de las estaciones meteorológicas más cercanas al bosque, que se encuentran en altitudes menores (en promedio 800 m de altitud de diferencia).
- Aunque la disponibilidad de agua es un factor limitante en el crecimiento del pino, su respuesta biológica a la variabilidad interanual de la aridez puede estar suavizada por procesos fisiológicos de compensación, como por ejemplo, los efectos de un año húmedo pueden persistir por varios años, así como también los efectos de un año seco (Cook and Kairiukstus, 1990) .

Pese a lo anteriormente señalado, se realizó la reconstrucción climática, observándose que, en la verificación, la serie reconstruída señala a *grosso modo* las tendencias que muestra la aridez observada y eventos climáticos extremos, como el ocurrido alrededor de 1840. Este evento de aridez extrema fué detectado también mediante una técnica diferente de reconstrucción climática, como es el análisis de sedimentos de lagos (Arndt Schimmelmänn com. pers.). La alta variabilidad de las tendencias de la serie reconstruída para décadas recientes, se encuentra igualmente en los registros meteorológicos de áreas cercanas y la obtención del periodograma nos posibilita para emitir la siguiente conclusión:

Aunque las variaciones climáticas interanuales no son registradas por *Pinus lagunae*, se le puede considerar como un árbol con sensibilidad suficiente a los cambios climáticos ya que pudo reflejar, mediante este estudio dendrocronológico, las tendencias climáticas de largo plazo (interdécadas).

Pese a que en el periodograma de la serie reconstruida, se presenta una señal que tiene una período de 20-28 años, similar con la periodicidades fundamental encontrada en la serie climática, las 6 periodicidades más importantes encontradas en la serie reconstruida, no explican la totalidad de la variabilidad de la serie. Esto se debe a que existen muchos ciclos de baja frecuencia que individualmente explican una proporción alta de la variabilidad total de la serie, por lo que no tiene sentido elaborar un modelo de predicción climática únicamente con las periodicidades más importantes.

Al revisar sólo el periodo de 1940 a 1990, en la serie climatológica calculada se aprecia que en su conjunto los datos indican un ligero predominio de los años con más humedad tal como se había manifestado en el capítulo anterior, sin embargo, la serie en su conjunto muestra las fluctuaciones pero no una tendencia general obvia hacia un aumento o disminución de la aridez.

Se recomienda la realización de estudios posteriores, utilizando datos de precipitación de la época de lluvias de verano exclusivamente, o temperaturas oceánicas, con la finalidad de buscar una mejor correlación entre parámetros climáticos y la serie dendrocronológica, para que se realice una mejor reconstrucción climática y ver si se presentan más claramente periodicidades fundamentales que sirvan de base para un modelo predictivo.

8. CONSIDERACIONES FINALES

Las consideraciones finales del trabajo se presentan de acuerdo a los tres temas principales que se abordan en este estudio: el estudio poblacional de *Pinus lagunae*, el análisis climatológico y el estudio dendroclimatológico.

- Estudio Poblacional

El análisis poblacional de *P. lagunae* en la Sierra de La Laguna no mostró diferencias significativas entre los individuos de las diferentes localidades estudiadas, observando además, que se trata de una población joven y dinámica, donde prevalecen los individuos de edades tempranas y tallas pequeñas. Por su parte, los individuos adultos alcanzan a tener más de 150 años, tal longevidad, resulta adecuada para desarrollar estudios dendrocronológicos. Estos pinos presentan un patrón de crecimiento anual, en el que se forma la madera temprana de mayo a octubre y la madera tardía de noviembre a abril del año siguiente.

La gráfica de sobrevivencia presenta una forma escalonada, con elevadas tasas de mortalidad en individuos de categorías intermedias y disrupciones en las distribuciones de frecuencias de altura, cobertura y área basal. Esto podría indicar que la población ha estado sujeta a algún tipo de aprovechamiento, cosa que no ha sucedido. Sin embargo, las evidencias de rodales de árboles muertos en pie, con cicatrices de daño causado por incendios y el ataque de insectos descortezadores, hacen pensar que esos factores son la causa de la mortalidad de individuos maduros.

En Baja California Sur los recursos maderables son muy limitados y el

aprovechamiento de estos recursos resulta ser una opción para satisfacer las necesidades de madera de los habitantes de la Sierra de La Laguna. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio, indican que la situación demográfica de la población de *P. lagunae* no es la óptima, ya sea por que no ha habido un reclutamiento continuo o por la inconsistencia en la tasa de mortalidad. Si aún así se quisiera utilizar a estos árboles como una fuente comercial de producción maderable, para desalentarse bastará comparar su tabla volumétrica con la de otras especies susceptibles de soportar un manejo forestal y ver que los volúmenes comerciales son insuficientes para sostener un aprovechamiento continuo, autosostenible y rentable del bosque de coníferas en Baja California Sur.

Por todo lo anterior, se deduce que la población de pinos de la Sierra de La Laguna, más que ser considerado como un recurso susceptible de aprovechamiento comercial, necesita de una protección que incluya lo siguiente:

- El control de su aprovechamiento doméstico, que aunque es incipiente, se sabe que existe.
- Una valoración de la magnitud del daño que los incendios y el ataque de insectos le ocasionan.
- Determinar mecanismos de control de esos dos factores dañinos para el pino.
- Determinar la velocidad de reemplazo del pino.

Una vez lograda la protección del bosque contra los agentes destructivos, de acuerdo con Gutiérrez (1989), se tiene asegurada la regeneración natural que irá propiciando árboles que se utilicen como cosecha natural del bosque.

Como una alternativa para realizar el aprovechamiento de esta población, está el establecimiento de huertos semilleros y el establecimiento de viveros para fines comerciales.

- Análisis climatológico

Se obtuvo una serie climática, relacionando la precipitación y la temperatura mediante un índice de aridez. Para ello se utilizaron los registros de 7 de las 9 estaciones meteorológicas más cercanas al bosque de encino-pino de la Sierra de La Laguna. Las series independientes de precipitación y temperatura fueron comparadas con la serie climática, observándose que la serie de precipitación contribuye con mayor peso relativo a la serie climática.

El análisis de la serie climática indica que tanto con la autocorrelación como con el periodograma, el ciclo de 24 años aparece como significativo, coincidiendo la periodicidad de esta señal con la que presenta el doble ciclo de las manchas solares. En un principio se pensó que en los análisis iba a manifestarse una señal asociada con la periodicidad del ENSO, pero no fue así, ya que este tipo de fenómeno, cuando se presenta, se hace mucho más evidente al norte del Estado, donde las lluvias dominantes ocurren en invierno, mientras que al Sur, cuando se presenta este fenómeno, se ven acentuadas las lluvias estivales.

La tendencia general de la serie resultante en este trabajo es hacia la disminución de la aridez, y abarca tan sólo unas décadas. Sin embargo, en escala geológica, la tendencia global del clima es hacia el aumento de la aridez, por lo que la tendencia de la serie obtenida puede indicar una fluctación inmersa dentro de una serie mucho más amplia.

- Análisis dendroclimatológico

Se obtuvo una cronología maestra de *Pinus lagunae* para la Sierra de La Laguna, la cual abarca el período de 1804 a 1990. Dicha cronología no presentó correlación con dendrocronologías de algunos de los bosques más cercanos, ya que esos sitios presentan diferentes patrones de precipitación.

Existen diferentes técnicas utilizadas para obtener registros climáticos pasados en forma aproximada, sin embargo, debido a las condiciones geográficas del Estado de Baja California Sur, el análisis dendroclimatológico es una de los más adecuados. Al relacionar la dendrocronología maestra con la serie de aridez, se obtuvo un modelo que nos permitió reconstruir la serie climática hasta 1804. En el período de verificación se observa que la serie recalculada muestra las tendencias a largo plazo, más bien que las variaciones interanuales, lo que se ve confirmado al obtener su periodograma. Con el modelo obtenido al relacionar la dendrocronología con la serie climática, a partir de 1804 se hizo la reconstrucción del clima para la región de la Sierra de La Laguna. En esta reconstrucción se pueden apreciar algunos valores extremos que indican períodos de mayor aridez, como el que se presenta al rededor de 1840. Esta señal también ha sido detectada con otros métodos de reconstrucción climática.

Los resultados obtenidos al realizar el periodograma de la serie reconstruida en su totalidad, no permiten obtener un modelo de predicción climática, ya que la variabilidad de la serie es explicada por un gran número de componentes, muchos de los cuales son ciclos de baja frecuencia.

Finalmente, vale la pena resaltar que el presente trabajo es un estudio integral, donde se analiza no solo la demografía de una especie y el clima donde se desarrolla, sino también la interacción entre estos dos factores.

9. LITERATURA CITADA

- Agren, J. y O. Zackarisson. 1990. Age and size structure of *Pinus sylvestris* populations on mires in Central and Northern Sweden. *Journal of Ecology* 78: 1049-1062.
- Allen, B. 1989. Frost and Drought Through time and space, Part I: The climatological record. *Mountain Research and Development*, Vol. 9 (3): 252-278.
- Andersen, A. 1988. Insect seed predators may cause far greater losses than they appear. *Oikos* 52: 333-337.
- Arriaga, L. 1988. Natural disturbance and treefalls in a pine-oak forest on the Peninsula of Baja California, Mexico. *Vegetatio* 78: 73-79.
- Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.), 1988. *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B.C.S. 237 pp.
- Arriaga, L., M. Franco y J. Sarukhán. 1988. Identification of natural groups of trees using multivariate methods. *Journal of Ecology* 76: 1092-1100.
- Arriaga, L. y Leon de la Luz, J.L. 1989. The mexican tropical deciduous forest of Baja California Sur: A floristic and structural approach. *Vegetatio* 84: 45-52.
- Arriaga, L., R. Coria y R. Bastida-Zavala. 1992. *La Sierra de La Laguna. Fundamentos para Apoyar la creación de una Reserva de la Biosfera*. CIB. de B.C.S.-WWF. Publicación No. 7.
- Arriaga, L. y J. Cancino. 1993. Prácticas pecuarias y caracterización de especies forrajeras en la Selva Baja Caducifolia. En: *Uso y manejo de los recursos naturales en la Sierra de La laguna*. Ortega, A. (Ed). CIB de B.C.S. publicación No. 5: 155-184.
- Arriaga, L. 1994. *Estrategia para la conservación de la Sierra de La Laguna*. CIBNOR-WWF. Public No.6. 154 pp.
- Arriaga, L., S. Díaz y C. Mercado. 1994. Conservation or comercial management of temperate forests of Baja California Sur, Mexico. *Conservation Biology* Vol. 8(4): 1132-1140.
- Axelrod, D.I. 1979. Age and origin of Sonoran Desert Vegetation. *California Academy of Sciences*. No. 132.
- Bartusiak, M. 1989. The sunspot syndrome. *Discover*. November. p: 45-52

- Begon, M., J.L. Harper y C.R. Townsend. 1990. Ecology. Individuals, populations and communities. Second edition. Blackwell Scientific Publications. U.S.A. 945 pp.
- Bolin, B. 1980. *Climatic changes and their effects on the biosphere*. World meteorological organization. U.S.A.
- Box, G.E.P. y Jenkins, G.M. 1976. *Time series Analisis Forecasting, and Control*. Second edition. San Francisco. U.S.A.
- Brandege, T.S. 1892. The distribution of the flora of the Cape Region of Baja California. *Zoe* 3: 223-231.
- Breceda, A. A. Castellanos, L. Arriaga y A. Ortega. 1991. Conservación y áreas protegidas. En: Ortega, A. y L. Arriaga (Eds.) *La Reserva de la Biosfera el Vizcaino en la Peninsula de Baja California*. CIB. B.C.S. México. Publicación No. 4: 21-32.
- Breceda, A., L. Arriaga and Y. Maya. 1992. Forest resources of the tropical dry forest and stream bottom communities of the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of the Arizona Nevada Academy of Science*
- Breceda, A.S. 1994. *La selva baja caducifolia y la vegetación de fondo de cañada en la Sierra de La Laguna, B.C.S. México*. Tesis de Maestría. UNAM. México.
- Cetina, A.V.M., E. García y M.R. Keyes. 1988. Aspectos de la regeneración de un bosque de *Pinus cembroides* Zucc. en la región de La Amapola, S.L.P. *Agrociencia*. No.72: 219-228.
- Cook, E.R., y L.A. Kairiukstis (Eds). 1990. *Methods of dendrochronology*. Kluwer Academic Publisher. London.
- Coope, G.R. 1985. Fossil beetle assemblages as evidence for sudden and intense climatic changes in the British Isles during the last 45,000 years. En: in Berger, W.H y L.D. Labeyrie. *Abrupt climatic changes*. NATO ASI Series. D. Reidel Publishing Company. Vol. 216.
- Coria B.R. 1988. Climatología. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B.C.S.
- Critchfield, W.B. y E.L. Little. 1966. Geographic distribution of the pines of the world U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Miscellaneous Publication No. 991. 97 pp
- Diario Oficial de la Federación. 6 de junio de 1994.
- Díaz, S. y L. Arriaga. 1992. Estudio poblacional sobre *Pinus lagunae* M.-F. Passini y su posible aprovechamiento. in Ortega A. editor. *Uso y manejo de los recursos naturales en la Sierra de La Laguna B.C.S. CIB-WWF. Publicación No. 5: 185-203*.

- Díaz, S.C., C.A. Salinas-Zavala y L. Arriaga 1994. An Interannual climatological aridity series for the Sierra de La Laguna, B.C.S., Mexico. *Mountain Research and Development* Volume 14(2): 137-146.
- Eckstein D. y Pilcher, J.R. 1990. Dendrochronology in Western Europe. En: Cook E.R. y Kairiukstis L.A. (Eds.) *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. p: 11-13
- Ferguson, C.W. 1970. Concepts and techniques of dendochronology. En: Bergere, R. (Ed). *Scientific Methods in Medieval Archaeology*. Chapter VII. University of California Press. p: 183-200.
- Ffolliot, P., M. Fogel y G. Gottfried. 1992. Recursos forestales de la Sierra de La Laguna. En: Ortega, A. (Ed). *Uso y manejo de los recursos naturales en la Sierra de La Laguna Baja California Sur*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur A.C. Publicación No. 5.
- Flores, M. G. Jiménez, X. Madrigal, F. Moncayo y F. Takaki. 1971. *Memorias del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana*. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Mex., D.F.
- Floyd, M.E. 1986. Inter- and intraspecific variations in piñon pine populations. *Botanical Gazette*. 147 (2): 180-188.
- Franco, M. y J. Silvertown. 1990. Plant demography: what do we know?. *Evolutionary trends in plants*. Vol. 42 (2): 74-76.
- Fritts, H. C., D. G. Smith, J. W. Cardis y C. A. Budelsky . 1965. Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in northern Arizona. *Ecology* 46: 393-401
- Fritts, H.C. 1982. An overview of dendroclimatic techniques, procedures and prospects. En Huges, M.K., P.M. Kelley, J.R. Pilcher y V.C. LaMarche Jr. (Eds). *Climate from Tree Rings* . Cambridge University Press, Cambridge. p: 191-197.
- Fritts, H.C. y Swetnam, T.W. 1989. Dendroecology: A tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in Ecological Research*. Vol. 19: 111-188.
- Fritz, H.S. 1989. Tree rings basic and applications of Dendrochronology. Kluwer Academic Publishers. U.S.A. 276 pp
- Fuller, H.J., Z.B. Carothers, W.W. Payne y M.K. Balbach. 1972. *The Plant World*. Holt Rinehart and Winston. Inc. U.S.A. 553 pp.
- García, E. y P. Mosiño, 1968. Los climas de Baja California. En: Del Arenal, R. (Ed.) *Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional*. Memoria 1966-1967. Instituto de Geofísica. UNAM. México. p: 29-56.

- García, E.P. 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Kopen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 2a. edición. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Gates, D.M. 1993. *Climate change and its biological consequences*. Sinauer Associates, Inc. U.S.A.
- Gentry, A. H. 1982. Patterns of Neotropical Plant Species *Diversity. Evol. Biol.* Vol. 15: 1-84.
- Gobierno del Estado de B.C.S. 1982. *Plan Hidráulico*. Uso actual y potencial de los recursos agua y suelo.
- Guertin, P., P. Ffolliott y M. Fogel. 1988. Características fisiográficas e hidrológicas. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B. C.S.
- Gutiérrez, P. 1989. *Conservacionismo y Desarrollo del Recurso Forestal*. Editorial Trillas. México, D.F.
- Habeck, J.R. 1988. Old-growth forests in the Northern Rocky Mountains. *Naturale Areas Journal*. Vol.8 (3): 202-211.
- Hammond, E.H. 1954. *A geomorphic study of the Cape Region of Baja California*. Univ. Calif. Publ. 10: 45-112.
- Harcombe, P.A. 1987. Tree life tables. *BioScience* Vol. 37 (8): 557-568.
- Harlow, W.M. y F.S. Harrar. 1950. *Textbook of Dendrology*. The American Forestry Series. Mc.Graw-Hill Book Company. U.S.A.
- Harper, I.L. 1977. *Population Biology of plants*. Academic Press. New York. 892 pp.
- Hasting, J.R. (Ed.). 1964. Climatological Data for Baja California. *Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions*. No. 14. Tucson: University of Arizona. Institute of Atmospheric Physics.
- Hastings, J.R. and R. M. Turner. 1965. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. *Geografiska Annaler*. Vol. 47A: 204-223.
- Hastings, J.R. y Humphrey, R.R. (Eds.) 1969. Climatological data and statics for Baja California. *Technical Report on the Meteorology and Climatology in Arid Regions*. No. 18 Institute of Atmospheric Physics, University of Arizona, Tucson.
- Holla, T. y P. Knowles. 1988. Age structure analysis of a Virgin White Pine, *Pinus strobus*, population. *Canadian Field-Naturalist*. Vol. 102 (2): 221-226.
- Holmes, L.R. 1992. *Dendrochronology program library*. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona.

- Inouye, R.S. 1991. Population biology of desert annual plants. En: Polis, G.A. (Ed.). *The Ecology of desert communities*. The University of Arizona Press. USA.
- Kairiukstis L. y S. Shiyatov. 1990. Dendrochronology in the USSR. En: Cook E.R. y Kairiukstis L.A. (Eds.). *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. p: 13-17.
- Krebs, Ch. J. 1978. *Ecology*. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Harper & Row Publishers. Nueva York.
- Krebs, Ch. J. 1989. *Ecological Methodology*. Harper & Row Publishers. Nueva York.
- LaMarche, V.C. Jr. 1982. Sampling strategies. En: Huges M.K., P.M. Kelly, J.R. Pilcher y V.C. LaMarche, Jr (Eds.). *Climate from Tree Rings*. Cambridge University Press, Cambridge. p: 2-6.
- Lamb, H.H. 1977. *Climate: Present, past and future*. Vol. 2. Methuen & Co. Ltd. London.
- Latorre, G. y L. Penilla. 1988. Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. *Atmósfera*. Vol. 1 (2): 99-112.
- Leach, C. 1982. *Fundamentos de Estadística. Enfoque No Paramétrico para Ciencias Sociales*. Editorial Limusa. México, D.F.
- León de la Luz, J.L., R. Domínguez y R. Coria. 1988. Aspectos florísticos. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B. C.S.
- León de la Luz, J.L. y Domínguez-Cadena, R. 1989. Flora of the Sierra de La Laguna, Baja California Sur, Mexico. *Madroño*. Vol. 36 (2): 61-83.
- León de la Luz, J.L. y R. Coria. 1993. Additions to the flora of the Sierra de La Laguna Baja California Sur, Mexico. *Madroño*. Vol 40 (1): 15-24.
- Leyva-Contreras, A., C. A. Salinas Z., F. de LaChica B., E. Díaz. 1988. Determinación de la variabilidad en los componentes armónicos de la precipitación en Baja California Sur, México. *III Congreso Interamericano de Meteorología*, 14-18 de noviembre de 1988, México, D.F.
- Lluch B.D, S. Hernández, D. Lluch, C. Salinas, F. Magallón y F. Lachica. 1991. Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el Noroeste mexicano. *Ciencia y Desarrollo*. Vol. 17 (98): 79-88.
- Macmahon, J.A. 1979. Northamerican deserts: their flora and faunal components. En: Perry, R. and D. Goodall. *Arid land Ecosystems: Structure functioning and managements*. Vol. 1 Cambridge University Press. USA. p: 21-82.
- Malusa, J. 1992. Phylogeny and Biogeography of the pinyon pines (*Pinus* subsec. *Cembroides*) *Systematic Botany*. Vol. 17 (1): 42-66.

- Martonne E. 1926. Areïsme et indice d'aridity, *Comptes Rendus de L'Acad. des Sci. Paris*. Vol. **182**: 1395-1398.
- Maya, D.Y. 1988. Edafología. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B. C.S.
- Mercado G.M.C. 1993. *Características estructurales y banco de semillas de claros formados por la caída natural de árboles en el bosque de encino-pino de Baja California Sur, México*. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 71 pp.
- Mirov, N.L. 1967. The genus *Pinus*. The Ronald Press Company. New York. 602 pp.
- Morelos, O.S. 1988. La vegetación: una aproximación a través de la fotointerpretación. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B. C.S.
- Norton, D.A. y J. Ogden. 1987. Dendroecological studies in New Zealand. Part 1. An evaluation of tree age estimates based on increment cores. *New Zealand journal Botany*. No. 25: 373-383.
- Norton, D.A. 1990. Dendrochronology in the Southern Hemisphere. En: Cook E.R. y Kairiukstis L.A. (Eds.). *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. p: 17-21.
- Odum, E.P. 1972. *Ecología*. Nueva editorial Interamericana, S.A. de C.V. México.
- Ortega A., L. Arriaga, J. León, E. Troyo, R. Coria, P. Galina, S. Alvarez, R. Rodríguez, A. Tejas, Y. Maya, A. Breceda, S. Morelos, R. Servín, A. González, L. Bojórquez. 1988. *Programa integral de desarrollo de la Reserva de la biósfera de Sierra de La Laguna, B.C.S.* Informe técnico presentado por el Centro de Investigaciones Biológicas a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México.
- Ortega, A. y L. Arriaga. 1988. Consideraciones finales. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B.C.S.
- Overpeck, J.T. 1985. Pollen time series and holocene climate variability of the midwest United States. En Berger, W.H y L.D. Labeyrie. *Abrupt climatic changes*. NATO ASI Series. D. Reidel Publishing Company. Vol. **216**.
- Padilla, G., S. Pedrín y E. Díaz. 1988. Historia Geológica y Paleoecológica. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra de La Laguna de Baja California Sur*. Publicación No. 1, Centro de Investigaciones Biológicas de B.C.S.
- Padmanabhan, G. and A. Ramachandra. 1990. On the Crosscorrelation Between Drought Indices and Solar Activity. *Theor. Appl. Climatol.* Vol. **41**: 55-61.

- Passini, M.F. 1987. The endemic pinyon of Lower California: *Pinus lagunae* M.-F. Passini. *Phytologia*. Vol. **63** (5): 337-338.
- Passini, M-F y N.Pinel. 1987. Morphology and Phenology of *Pinus lagunae* M.-F. Passini. *Phytologia*. Vol. **63** (5): 331-336
- _____. 1989. Ecology and distribution of *Pinus lagunae* in the Sierra de La Laguna, Baja California Sur, México. *Madroño*. Vol. **36** (2): 84-92.
- Pérez-Enríquez, R., B. Mendoza y M. Alvarez-Madrigal. 1988. *Solar activity and El Niño*. Instituto de Geofísica de la UNAM. Serie de Investigación No.7.
- Pinel, N. 1985. *La Formación a Pinus cembroides var. lagunae en la Sierra de La Laguna, B. C. S. México*. Informe realizado para obtener el D.E.A. de Ecología en el Centro de Investigaciones Biológicas de la Paz.
- Pitcock, A.B. y Cropper. 1982. Climatic Reconstructions from Tree-Rings. En: M.Hughes *et al.* (Eds.). *Climate from Tree Rings*. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- Platt, W.J., G.W. Evans y S.L. Rathbun. 1988. The population dynamics of a long-lived conifer (*Pinus palustris*). *The American Naturalist* Vol. **131**(4): 491-525
- Prieto, R.J. y A. Quiñones. 1993. Observaciones fenológicas para la determinación del ciclo reproductivo en el género *Pinus*. S.A.R.H. Durango. Tema didáctico No.2. 29 pp.
- Reyes-Coca, S. y Rojo-Salazar, P. 1985. Variabilidad de la precipitación en la península de Baja California. *Rev. Geofísica*. No 22/23.
- Reyes-Coca, S., A. Mejía-Trejo y D. L. Cadet. 1988. Tropical cyclone activity in the eastern Pacific in relation to the ENSO phenomenon. *Monthly Weather Review*.
- Rincón, E. y Huante, P. 1989. Dendrocronología. *Ciencia*. **40**: 245-256.
- Robert-Passini, M-F. 1981. Deux nouveaux pins pignons du Mexique. *Bull. Mus. Hist. Natn.*, Paris 4,3. sect B. *Adansonia* 1:61-73
- Robinson, W.J. 1990. Dendrochronology in Western North America: The Early years. En: Cook E.R. y Kairiukstis L.A. (Eds.). *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. p:1-8.
- Rodríguez, B. D. y Padilla, G. H. 1976. Tablas de volúmenes para pino (*Pinus* sp y Oyamel (*Abies religiosa* Scl. et Cham.) del campo Zoquiapan. *Información Técnica de bosques*. Vol. **3**. (8): 26-35.
- Ropelewski, C. F. y M. S. Halpert. 1987. Global and Regional precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* Vol. **115**: 1606-1626 pp.

Falta página

N° 102

- STSC. 1991. Statgraphics. Version 5. U.S.A.
- Swetnam, T. W., Thompson M.A. y Sutherland A. K. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. *Spruce budworms handbook*. Agriculture handbook No. 639: 39
- Thompson L.G. y E. Mosley-Thompson. 1985. Evidence of abrupt climatic change during the last 1,500 years recorded in ice cores from the tropical Quelccaya Ice Cap, Peru. En: Berger, W.H y L.D. Labeyrie (Eds.). *Abrupt climatic changes*. NATO ASI Series. D. Reidel Publishing Company. Vol. 216.
- Tomas, J.P. 1980. Demographic observations in *Pyrenean pinewoods*. *Stud. Oecol.* Vol. 1 (1): 37-56.
- Trenberth, K.E. 1991. General Characteristics of El Niño-Southern Oscillation. En: Glantz, M.H., R.W. Katz y N. Nicholls. *Teleconnections linking worldwide climate anomalies*. Cambridge University Press. U.S.A. p: 13-42.
- Vandendriessche, R. 1991. Influence of container nursery regimes on drought resistance of seedlings following planting. 1. Survival and growth. *Canadian Journal Forestry Research*. Vol. 21 (5): 555-565
- Villa-Salas, A. 1968. La vegetación forestal en el extremo meridional de Baja California. *Dirección General del Inventario Forestal*. Publ. No. 10. S.A.R.H., México.
- Webb, G.E. 1983. *Tree rings and telescopes: The scientific career of A.E. Douglas*. The University of Arizona Press. Tucson.
- Wiggins, I.L. 1980. *Flora of Baja California*. Standford University Press. USA.

APENDICE I

Descripción de las series obtenidas para cada estación meteorológica analizada de la Sierra de La Laguna.

Caduaño.- El periodo de registros climáticos va de 1951 a 1990, observándose que los índices presentaron los valores más bajos para principios de los años 50's, finales de los 60's-principios de los 70's y finales de los 80's; mientras que los más altos se presentaron para finales de los 50's-principios de los 60's, mediados de los 70's y principios de los 80's (Fig. 13a). Con base en la regresión lineal se aprecia que la tendencia general de la serie es a disminuir la aridez (pendiente, $m=0.10$), debido a la relación matemática propuesta en el Índice de Martonne entre temperatura y precipitación, donde los valores altos significan menor aridez.

Los Divisaderos.- 1953 a 1990. Los índices de aridez más bajos se observaron para principios de los 50's, finales de los 60's-principios de los 70's y finales de los 70's, mientras que los valores más altos son para finales de los 50's y principios de los 80's (Fig. 13b). La pendiente de la regresión es nula, por lo que la tendencia de aridez de la serie ni aumenta ni disminuye ($m=0$).

Santa Gertrudis.- 1943 a 1990. Se observan los picos bajos a mediados de los 40's, mediados de los 50's, y de mediados de los 60's a finales de los 70's; mientras que los más altos a finales de los 40's-principios de los 50's, finales de los 50's y mediados de los 80's (Fig.13c). La tendencia de la serie es de aumentar ligeramente la aridez ($m=-0.03$).

Sierra de La Laguna.- Esta estación es la más irregular de las del grupo, a esto se debe, en gran medida, el interés de realizar el presente capítulo, ya que los registros van de 1952 a 1985 presentando los períodos de 1965 a 1968 y en 1978, en los que la estación no operó. Por otra parte las pendientes de las regresiones de cada período de datos continuos son negativos, indicando que hay una tendencia a aumentar la aridez ($m = -1.38,$

-0.4 y -0.69). Al realizar la gráfica para esta estación se tuvo que utilizar otra escala en el eje de las ordenadas ya que sus valores son más grandes que el resto de las otras estaciones (Fig. 13d).

San Antonio.- 1955 a 1990. Presenta los valores más bajos para finales de los 60's-principios de los 70's y para mediados de los 80's; mientras que los valores más altos se presentan para inicios de los 60's, mediados de los 70's y principios de los 80's (Fig.13e), con una tendencia ligera a disminuir la aridez ($m = 0.02$).

San Bartolo.- 1943 a 1990. Los valores más bajos se presentan a principios de los 40's, finales de los 60's, finales de los 70's y finales de los 80's; siendo los intervalos de los años de finales de los 40's-principios de los 50's, finales de los 50's-principios de los 60's, mediados de los 70's y principios de los 80's cuando se presentaron los valores más altos (Fig. 13f). La tendencia de la serie es de disminuir la aridez ($m = 0.02$).

Santiago.- 1941 a 1990. Los valores más bajos del índice de aridez son para principios-mediados de los 40's, principios de los 50's, finales de los 60's y finales de los 80's; mientras que los valores más altos se presentan a finales de los 40's-principios de los 50's, finales de los 50's-principios de los 60's, principio de los 70's principios de los 80's (Fig. 13g). La tendencia de la serie es positiva, a disminuir la aridez, ($m = 0.02$).

El Triunfo.- 1963 a 1990. Presenta los valores bajos para fines de los 60's, fines de los 70's y mediados de los 80's, y los más altos a principios de los 70's, principios de los 80's y a fines de los 80's (Fig. 13h). La tendencia de la serie es de disminuir la aridez ($m = 0.18$).

Yeneca.- 1963 a 1988. Los picos de valores bajos son para finales de los 60's y finales de los 80's; mientras que los valores altos son para mediados de los 70's y principios de los 80's (Fig. 13i). Se observa una tendencia negativa de la serie, es decir un aumento de aridez ($m = -0.07$).

DCZ
531M
1995



377



UNAM

FECHA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro antes
del vencimiento de préstamo señalado por el
último sello

18 NOV 2011			
-------------	--	--	--

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

T
D.C.S.C

1995



BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
UNAM

TESISTEM
Tel. 658-70-48