

I N S T I T U T O P O L I T E C N I C O N A C I O N A L
C E N T R O I N T E R D I S C I P L I N A R I O D E C I E N C I A S M A R I N A S

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS
I. P. N.
BIBLIOTECA

LA PRECIPITACION COMO INDICADOR DE LA VARIACION
CLIMATICA EN LA PENINSULA DE SAJA CALIFORNIA
Y SU RELACION DENDROCRONOLOGICA

TESIS QUE PRESENTA

SAMUEL RUEDA FERNANDEZ

COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN CIENCIAS PESQUERAS

1983

INDICE

Lista de ilustraciones-----	1
Lista de tablas-----	2
Lista de gráficas-----	6
RESUMEN-----	9
INTRODUCCION-----	11
Dendrocronología-----	13
Objetivos-----	20
Antecedentes-----	21
Actividad solar-----	24
Justificación-----	27
Agradecimientos-----	28
Dedicación-----	29
MATERIALES Y METODOS EMPLEADOS-----	30
Recopilación y organización de la información-----	30
Análisis y utilización de modelos estadísticos-----	32
Precipitación media anual-----	32
Análisis de Fourier-----	37
Cronología maestra de precipitación anual-----	45
Relación entre las cronologías maestras de precipitación anual y las dendrocronologías maestras disponibles-----	48
RESULTADOS OBTENIDOS-----	50
Aplicación del modelo de periodicidad múltiple por zonas-----	57
ZONA I-----	57
ZONA II-----	60
ZONA III-----	61

	Página
DISCUSION-----	92
ZONA I-----	98
ZONA II-----	101
ZONA III-----	103
Relación entre actividad solar y sistemas climáticos terrestres-----	106
Pronóstico-----	109
Reconstrucción hacia el pasado del índice anual de precipitación-----	113
ZONA I-----	114
ZONA II-----	114
ZONA III-----	115
CONCLUSIONES-----	122
BIBLIOGRAFIA-----	124
APENDICE I	
Información de precipitación total anual y dendrocronologías en la Península de Baja California	
APENDICE II	
Precipitación media anual en la Península de Baja California	
APENDICE III	
Índice anual de precipitación en la Península de Baja California	
APENDICE IV	
Zonificación de la Península de Baja California	
APENDICE V	
Correlaciones entre cronologías maestras de precipitación y dendrocronologías maestras en la Península de Baja California.	

Ilustración 1

Sección transversal de un tronco de conífera.....14

Ilustración 2

Especímenes de áreas con clima homogéneo.....17

Ilustración 3

Máquina Addo-X.....19

Ilustración 4

Traza de la curva de crecimiento de los anchos de anillos arbóreos..19

Ilustración 5

Mapa de localización de las estaciones climatológicas.....31

Tabla 1.
 Precipitación media anual, para la ZONA I..... 54

Tabla 2.
 Autocorrelaciones desplazadas en la serie de
 precipitación media anual, para la ZONA I..... 54

Tabla 3.
 Precipitación media anual, para la ZONA II.. 55

Tabla 4.
 Autocorrelaciones desplazadas en la serie de
 precipitación media anual, para la ZONA II.. 55

Tabla 5.
 Precipitación media anual, para la ZONA III. 56

Tabla 6.
 Autocorrelaciones desplazadas en la serie de
 precipitación media anual, para la ZONA III..... .. 56

Tabla 7.
 Componentes periódicas en la precipitación media anual según el
 modelo de periodicidad múltiple para cinco frecuencias en las di-
 ferentes zonas.*..... 58

Tabla 8.
 Precipitación media anual observada y calculada según el modelo
 de periodicidad múltiple, para la ZONA I..... 63

Tabla 9.
 Precipitación media anual observada y calculada según el modelo
 de periodicidad múltiple, para la ZONA II..... 64

Tabla 10.
 Precipitación media anual observada y calculada según el modelo
 de periodicidad múltiple, para la ZONA III..... 65

Tabla 11.
 Pronóstico de la precipitación media anual, para la ZONA I..... 66

Tabla 12.
 Pronóstico de la precipitación media anual, para la ZONA II..... 67

Tabla 13.
 Pronóstico de la precipitación media anual, para la ZONA III..... 68

Tabla 14.
 Correlaciones cruzadas desplazadas entre series de precipitación
 media anual de zonas no homogéneas entre sí. ZONA 1 con ZONA II..... 70

Tabla 15.
 Correlaciones cruzadas desplazadas entre series de precipitación
 media anual de zonas no homogéneas entre sí. ZONA I con ZONA III..... 70

Tabla 16.

Correlaciones cruzadas desplazadas entre series de precipitación
media anual de zonas no homogéneas entre sí. ZONA II con ZONA III.....71

Tabla 17.

Cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA 1.73

Tabla 18.

Cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA II.....73

Tabla 19.

Cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA III.....74

Tabla 20.

Autocorrelaciones desplazadas en la serie de la cronología
maestra de precipitación anual, para la ZONA I.....75

Tabla 21.

Autocorrelaciones desplazadas en la serie de la cronología
maestra de precipitación anual, para la ZONA II.....75

Tabla 22.

Autocorrelaciones desplazadas en la serie de la cronología
maestra de precipitación anual, para la ZONA III.....76

Tabla 23.

Dendrocronología maestra media.....78

Tabla 24.
 Autocorrelaciones desplazadas para la serie de la
 dendrocronología maestra media..... 80

Tabla 25.
 Información para el modelo de regresión múltiple lineal entre la cro-
 nología maestra de precipitación anual de la ZONA III y la dendrocro-
 nología maestra media con desplazamientos en el tiempo.....32

Tabla 26.
 Resultados del modelo de regresión múltiple lineal, para la ZONA III... 83

Tabla 27.
 Índices anuales de precipitación observados y calculados según el
 modelo de regresión múltiple lineal, para la ZONA III..... 84

Tabla 28.
 Información de las variables independientes para la reconstrucción de
 la cronología maestra de precipitación anual hacia el pasado, para la
 ZONA III.....86

Tabla 29.
 Cronología maestra de precipitación anual reconstruida hacia el pasa-
 do, para la ZONA III..... 88

Tabla 30.
 Autocorrelaciones desplazadas de la cronología maestra de precipitación
 anual reconstruida hacia el pasado, para la ZONA III.....90

Gráfica 1.

Precipitación media anual, para la ZONA I..... 54

Gráfica 2.

Correlograma de la precipitación media anual, para la ZONA I..... 54

Gráfica 3.

Precipitación media anual, para la ZONA II..... 55

Gráfica 4.

Correlograma de la precipitación media anual, para la ZONA II..... 55

Gráfica 5.

Precipitación media anual, para la ZONA III..... 56

Gráfica 6.

Correlograma de la precipitación media anual, para la ZONA III..... 56

Gráfica 7.

Precipitación media anual observada y calculada según el modelo de periodicidad múltiple, para la ZONA I..... 63

Gráfica 8.

Precipitación media anual observada y calculada según el modelo de periodicidad múltiple, para la ZONA II..... 64

Gráfica 9.

Precipitación media anual observada y calculada según el modelo de periodicidad múltiple, para la ZONA III..... 65

Gráfica 10.	
Pronóstico de precipitación media anual, para la ZONA I.....	66
Gráfica 11.	
Pronóstico de precipitación media anual, para la ZONA II.....	67
Gráfica 12.	
Pronóstico de precipitación media anual, para la ZONA III.....	68
Gráfica 13.	
Cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA I.....	73
Gráfica 14.	
Cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA II.....	73
Gráfica 15.	
Cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA III.....	74
Gráfica 16.	
Correlograma de la cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA I*	75
Gráfica 17.	
Correlograma de la cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA II.....	75
Gráfica 18.	
Correlograma de la cronología maestra de precipitación anual, para la ZONA III.....	76

Gráfica 19.

Dendrocronología maestra media de precipitación anual..... 78

Gráfica 20.

Correlograma de la dendrocronología maestra media de precipitación anual.....81

Gráfica 21.

Cronología maestra de precipitación anual observada y calculada según el modelo de regresión múltiple lineal, para la ZONA III...84

Gráfica 22.

Cronología maestra de precipitación anual reconstruida hacia **el pasado** a través del modelo de regresión múltiple lineal, para la ZONA III.....89

Gráfica 23.

Correlograma de la cronología maestra de precipitación anual reconstruida hacia el pasado, para la ZONA III..... 91

RESUMEN

El presente trabajo contempla la búsqueda de patrones de variación climática en la Península de Baja California, considerando al parámetro precipitación como un indicador de tales fluctuaciones.

Se han obtenido los datos de la precipitación anual en la Península de Baja California (México) desde el año de 1894 a la fecha, aunque para esta investigación el último año considerado es 1981. Con el fin de trabajar con patrones de precipitación homogénea se hace un análisis de correlación cruzada entre las 119 estaciones climatológicas que constituyen el área de estudio, llegándose bajo criterios de significación estadística a zonificar 103 estaciones en tres grandes regiones que se denominan: ZONA I, ZONA II y ZONA III; en las cuales las diferentes localidades que las integran tienen patrones de variación homogénea.

Se hace un análisis de Fourier para el patrón de precipitación media anual en cada zona y a través del método de descendencia cíclica (Brent, 1972) se estiman las frecuencias óptimas para cada serie de tiempo, encontrándose para las zonas I, II y III un modelo de cinco componentes periódicas con correlaciones de $r_I = 0.957$, $r_{II} = 0.952$ y $r_{III} = 0.961$ respectivamente, las cuales son altamente significativas ($\alpha = 0.01$). En este análisis se identifican las periodicidades existentes en el patrón de precipitación media anual con un ciclo de aproximadamente 11 años coincidente con el ciclo principal de la actividad solar (Walmeier, 1961).

Del pronóstico llevado a cabo se observa que para la ZONA I existe un pe-

río de alta precipitación media anual en los años 1980-1999, destacando entre los más lluviosos 1983, 1986 y 1987, mientras que en las vecindades del año 2015 se tiene una gran sequía. Para la ZONA II se encuentra un período de escasas lluvias en los años de 1981-2000, siendo los años drásticamente secos 1987 y 1988, después se incrementa la precipitación media anual hasta llegar a las vecindades del año 2015, en donde se presenta un período de intensas lluvias para la región. Para la ZONA III se tiene el período de 1978-1989 de intensas lluvias mientras que alrededor del año 2007 existe un período de drástica sequía para la región.

Para aumentar el período de información, se hace la reconstrucción hacia el pasado de los índices de precipitación anual usando los datos climáticamente sensitivos de los anillos de crecimiento anual de árboles de la ZONA III. Esto conduce a un análisis de regresión lineal múltiple entre los índices de precipitación anual de la ZONA III y la dendrocronología maestra media de esta región, encontrándose una correlación de 0.64 la cual es altamente significativa ($\alpha = 0.01$). La variación estacional encontrada en la paleoprecipitación reconstruida tiene una periodicidad de 4.4 - 5.1 años con el 95% de confianza, indicando esto la presencia de años húmedos y años secos con respecto a la precipitación esperada.

INTRODUCCION

Se sabe que parámetros ambientales tales como vientos, temperatura del aire, presión atmosférica, humedad de la atmósfera, precipitación, temperatura superficial del mar, oxígeno disuelto en el agua de mar, salinidad, pH, etc., son factores que de alguna forma influyen en la vida de los organismos.

La influencia sobre los organismos de cada uno de estos factores o del conjunto de ellos, ha sido siempre un campo fértil de investigación, alcanzándose en la actualidad resultados bastante satisfactorios. En el medio ambiente marino no deja de ser importante tratar de explicar, en lo que corresponde, el comportamiento de los organismos, conociendo las variaciones de los factores a cuya influencia están sujetos.

En general, el medio ambiente está constituido por un gran número de factores físico-químicos denominados parámetros ambientales, los cuales son susceptibles de medición; por lo tanto, se puede hacer un estudio cronológico acerca de la variación de éstos y posteriormente encontrar la posible influencia que puedan tener sobre los organismos, aunque se sabe que estas relaciones son bastante complejas.

En la naturaleza se distingue entre los cambios estacionales que presenta una población, las cuales obedecen en gran parte al patrón de variación estacional de factores ambientales, y las fluctuaciones anuales de dicha población. Estas últimas, que acaparan la atención de este trabajo, los ecólogos las han subdividido en (a) fluctuaciones regidas ante todo por diferencias anuales en el medio físico de la población o factores extrínsecos y (b) oscilaciones que

dependen del dinamismo de la población o factores intrínsecos (Odum, 1972).

Tradicionalmente, las fluctuaciones interanuales de la abundancia de organismos en las poblaciones naturales se han considerado primordialmente de origen extrínseco, relacionadas con la variación de factores físicos. Aun cuando en algunos casos se han identificado ciclos de abundancia, la mayor parte de estas fluctuaciones se han tratado como variación aleatoria de factores determinantes incontrolables.

Durante el estudio de la pesquería de sardinas de Baja California Sur, así como de otros recursos pesqueros de la zona, se han identificado ciclos de abundancia importantes. Dada la magnitud de las fluctuaciones, es de gran importancia determinar si hay ciclos climáticos que puedan correlacionarse con los ciclos de abundancia, con el propósito inmediato de adquirir cierto grado de predicción y, a mediano plazo, explicar las variaciones de abundancia en las poblaciones naturales. En el presente trabajo se analizan los patrones de variación climática de la región, tomando como indicador de éstos los patrones de precipitación en la Península de Baja California (México).

Para este trabajo se seleccionó como parámetro ambiental de estudio la precipitación. La selección de este parámetro se hizo fundamentalmente porque es, en la zona de estudio, el factor limitativo primario que controla los anchos relativos de los anillos arbóreos de crecimiento anual, afectando la mezcla del suelo y el balance del agua en el árbol. No obstante, hay que señalar que las altas temperaturas probablemente afecten la evapotranspiración y limiten el proceso de crecimiento (Fritts, 1962; Fritts et al, 1965; citado por Fritts, 1967).

Muchos han sido los investigadores que se han dedicado al estudio de la Dendroclimatología. Se ha demostrado que las fluctuaciones climáticas en un gran período de tiempo obtenidos de los reportes meteorológicos para el oeste de Norteamérica, coinciden con datos derivados de anillos arbóreos (LaMarche & Fritts, 1971; Fritts et al, 1971). Es posible por lo tanto, hacer inferencias sobre anomalías climáticas al pasado basadas en el análisis de datos de anillos arbóreos.

Los datos de anillos arbóreos son de utilidad en las reconstrucciones paleoclimáticas debido a la disponibilidad de un gran número de árboles, la longevidad de los mismos y al hecho crítico de que la información climática que ellos proveen puede ser fechada.

Dendrocronología

A la ciencia que estudia la secuencia cronológica de los anillos arbóreos se le llama Dendrocronología, mientras que la Dendroclimatología es la que se encarga del estudio de las relaciones existentes entre parámetros climáticos y los anillos de crecimiento de los árboles.

Los árboles presentan en su sección transversal una serie de anillos de crecimiento los cuales pueden exhibir patrones característicos (ver ilustración 1). Las condiciones necesarias para que estos patrones sean útiles en el fechado de un ejemplar son: (a) los árboles que van a ser fechados deben contener un solo anillo por temporada de crecimiento; (b) debe existir un factor ambiental dominante que limita el crecimiento, aunque se sabe que éste es el resultado de la interacción

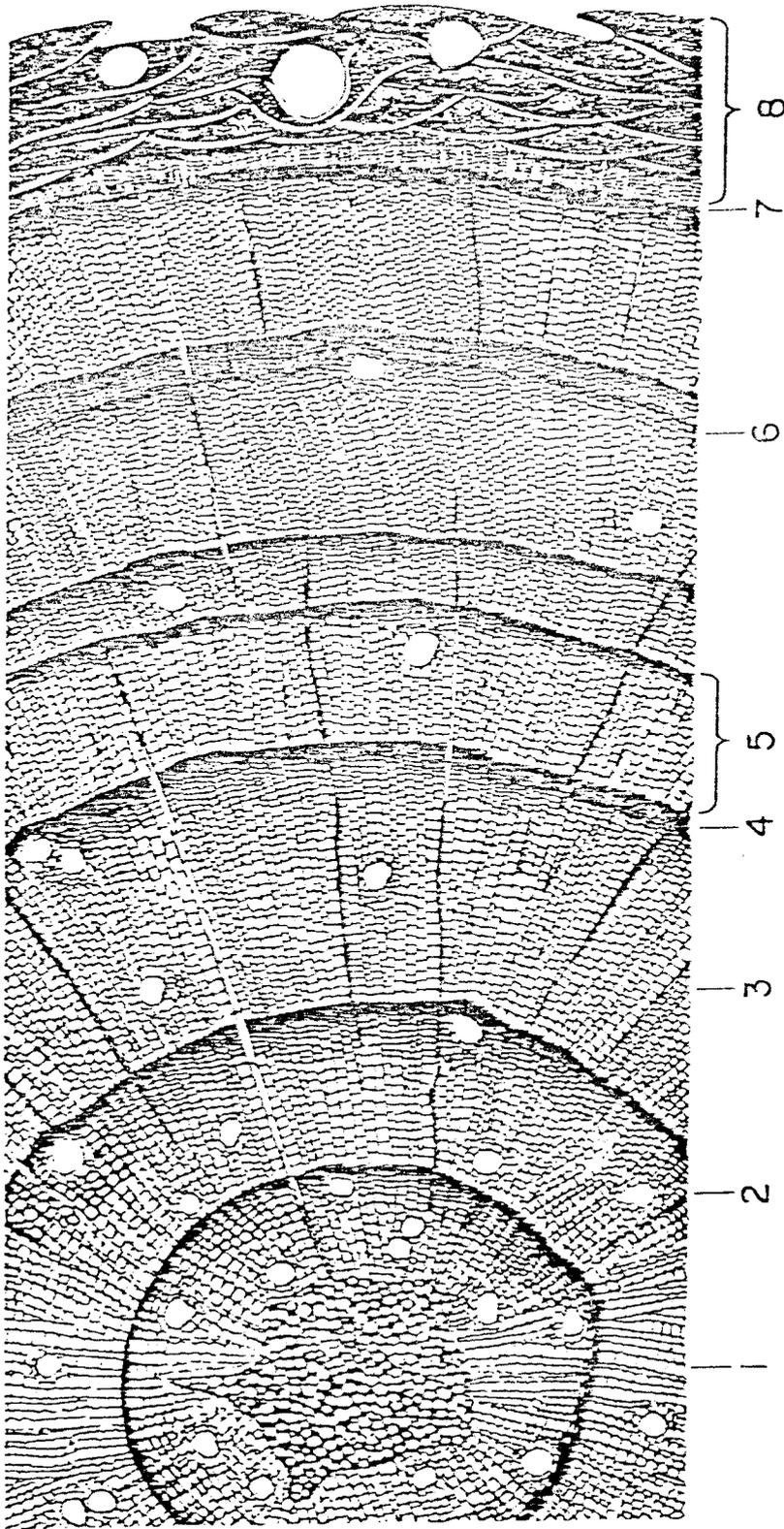


Ilustración 1. Sección transversal de un tronco de conifera que muestra: (1) médula, (2) ducto de resina, (3) células de madera temprana, (4) células de madera tardía, (5) anillo anual, (6) anillo falso, (7) cambium, y (8) corteza.

de muchos factores genéticos y ambientales; (c) 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 en su anchura y (d) el factor climático dominante en crecimiento debe ser uniformemente efectivo en una gran área geográfica.

El crecimiento de los árboles depende de una serie compleja de interacciones entre factores genéticos y ambientales. La genética determina en los árboles las condiciones ambientales que tolerará y controla la respuesta que estos árboles tendrán a estas condiciones. El ambiente provee los nutrientes, el agua y la energía térmica requerida para que los procesos fotosintéticos y metabólicos se lleven a cabo. La abundancia o la falta de cualquiera o de todos estos constituyentes determina si el árbol crecerá hasta los límites de su potencial genético.

Se ha observado que la precipitación es el factor climático dominante en el crecimiento de los árboles para el suroeste de Norteamérica y que dicho crecimiento varía con la cantidad de precipitación (Stokes & Smiley, 1968). Esto es particularmente evidente si los árboles muestreados han sido seleccionados cuidadosamente. Más aún, este factor limitante dominante en el crecimiento es el contenido efectivo de humedad en el suelo, que se define como la cantidad disponible de agua subsuperficial que viene de todas las fuentes menos la pérdida por evaporación y escurrimiento. La cantidad de humedad efectiva en el suelo está controlada no solo por la cantidad, tipo o momento de la precipitación y campo de agua atmosférico, sino también por la textura, desecación y composición del suelo.

La circulación atmosférica y los rasgos montañosos dividen la superficie de la tierra en numerosas regiones macroclimáticas. En dichas regiones macroclimáticas las condiciones meteorológicas anuales varían regularmente en una escala espacial relativa; consideramos, por lo tanto, que las áreas dentro de estas regiones tienen clima homogéneo (Stokes & Smiley, 1968). Por ejemplo, en el suroeste de Norteamérica una montaña puede tener una precipitación anual alta sobre su cumbre y una precipitación anual baja en su base. Sin embargo durante un año húmedo generalmente la precipitación se incrementa en ambas localidades. Ya que el incremento o decremento en la cantidad de precipitación es aproximadamente proporcional en toda el área climática, los patrones de anillos arbóreos en toda ella son similares. Esto generalmente se ha verificado con la toma de datos en secciones transversales de árboles que crecen en estos sitios. De aquí que sus patrones de anillos puedan ser comparados, aunque existan en éstos, diferencias locales o microclimáticas que pueden ser ajustadas convenientemente en el momento de su comparación (ver ilustración 2).

Una de las mayores dificultades en cualquier estudio es la reducción de la información a una forma tal, que pueda ser usada con facilidad en el análisis.

Existen varios métodos de medición de anillos arbóreos, entre los cuales uno de los más rápidos es con el uso de una máquina ADDO X (Ver ilustración 3) la cual lee automáticamente la distancia que el espécimen ha sido movido en relación al microscopio (ancho del anillo) y se registra al oprimir un botón, por lo tanto la precisión depende del ope

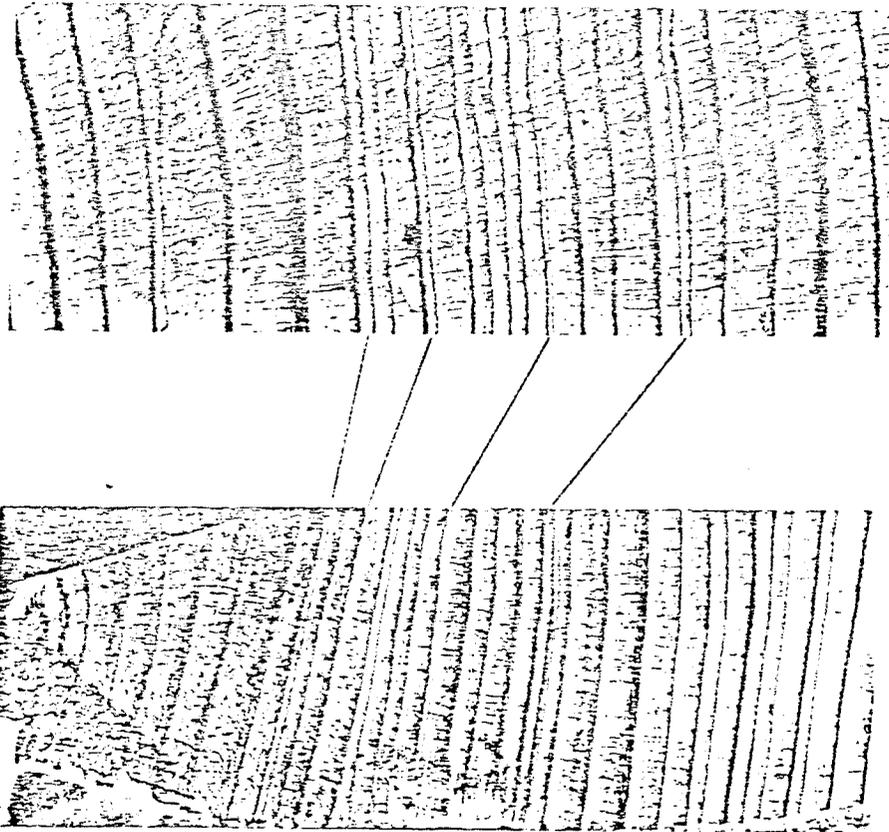


Ilustración 2. Especímenes de áreas con clima homogéneo.

rador. Todas las mediciones son hechas a lo largo de un radio continuo, tal que los anchos relativos de los anillos son consistentes.

Después que el espécimen ha sido medido anillo por anillo, el siguiente paso es graficar estas mediciones en hojas de papel gráfico con escala métrica. Los especímenes de un grupo son graficados sobre la misma hoja, donde cada línea vertical representa un año; la escala vertical más común para graficar es de 5 mm por cada mil ímetro de ancho del anillo. Para facilitar la lectura y más tarde los cálculos, los puntos que marcan las cantidades de crecimiento por año se unen con una línea para formar una curva de crecimiento (ver ilustración 4).

Una gráfica maestra no puede ser construida con los promedios anuales de los anchos de anillos arbóreos disponibles, debido a las características especiales de crecimiento de los árboles. Un árbol no responde a un conjunto dado de condiciones ambientales de la misma manera a lo largo de su vida, y cada árbol reacciona diferente al mismo conjunto de condiciones. Generalmente un árbol aumenta más el ancho de sus anillos cuando está joven y su tronco es pequeño, que cuando envejece y su tronco ha crecido en longitud. Es necesario encontrar una curva de crecimiento medio para cada espécimen en la construcción de una cronología maestra. Primeramente se plantea una corrida media de los anchos de los anillos; se recomienda usar medias de 20 años para series mayores de 400 años, y una media de 10 años para series más cortas. Se grafican estos promedios y se construye la curva de crecimiento medio. Posteriormente se compara la curva de crecimiento con la de crecimiento medio, obteniéndose así los índices de crecimiento anual para cada espécimen.

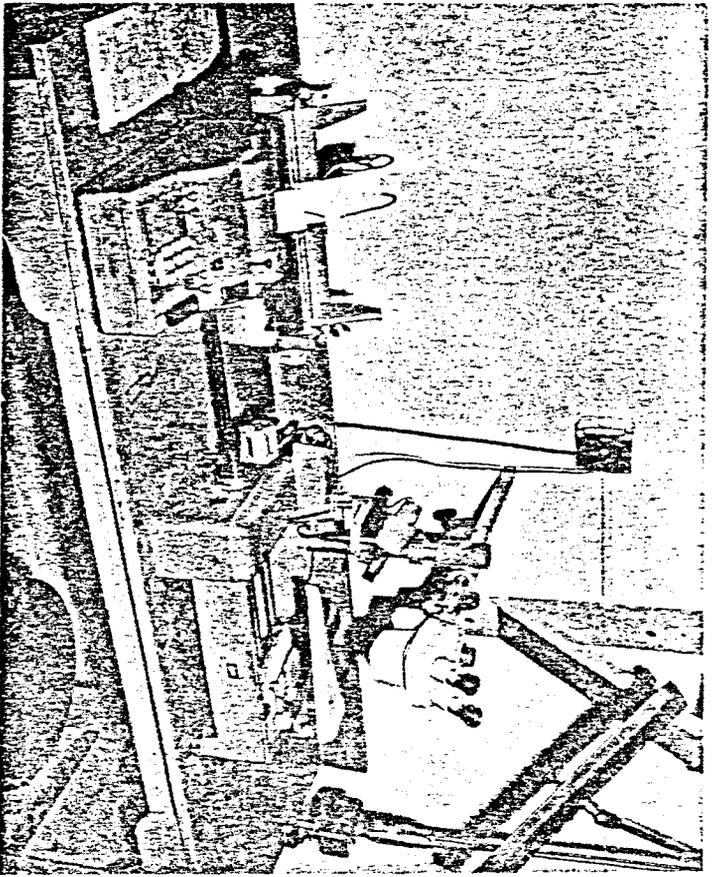


Ilustración 3. Máquina Addo-X. Sistema automático utilizado en la lectura de anchos de anillos arbóreos.

Ilustración 4. Trazo de la curva de crecimiento - de los anchos de anillos arbóreos.



Los índices de un número de especímenes de la misma área pueden ser promediados año por año, constituyendo estos índices promedio anuales una cronología maestra, la cual puede ser graficada y usada para el fechado de especímenes adicionales de esa área o áreas vecinas. Una cronología maestra puede incluir especímenes solo de un pequeño valle, de un cauce de río, de una unidad geográfica,..etc. El rasgo esencial de las series de anillos arbóreos que conforman la cronología maestra es que sean homogéneos, es decir, que tengan patrones muy parecidos. La similitud entre las series de anillos anuales que constituyen el sistema de trabajo en la construcción de cronologías maestras, es a veces fácil de observar pero difícil de definir. Con el uso de análisis estadístico se pueden calcular coeficientes de correlación para series de anillos que cubren el mismo período de tiempo y obtener así un criterio de medición del grado de similitud (Stokes & Smiley, 1968).

Objetivos

La hipótesis del presente trabajo es considerar que el clima en la Península de Baja California (México) presenta patrones de variación cíclica.

Para contrastar esta hipótesis se analiza el parámetro precipitación como un indicador de tales variaciones, estableciendo como objetivo la identificación de patrones y zonas de variación climática para la región.

Para lograr este objetivo se plantean las siguientes metas:

- (1) Trabajar estadísticamente las series de tiempo de precipitación para todas las localidades de la Península de Baja California (México), donde haya información de este parámetro, identificando zonas de variación homogénea con sus ciclos y períodos correspondientes.

- (2) Considerar la información que se tiene acerca del crecimiento de los árboles (pinos) en el Estado de Baja California (México) y sur del Estado de California (Estados Unidos), encontrando la relación con el parámetro precipitación de la Península de Baja California, reconstruyéndose éste hacia el pasado, confirmando así las posibles variaciones estacionales.

Antecedentes

Mc Ewen (1925) fue el primero en sugerir la aparente relación entre la temperatura del océano y la precipitación en California, planteando como hipótesis que la temperatura del océano podría influir en el patrón de la presión atmosférica de la región Pacífico Norte, así como afectar la cantidad de humedad atmosférica disponible para la precipitación. Con estas ideas intentó pronosticar precipitación en época fría en California, basado en la temperatura del océano en el verano anterior. Estos pronósticos fueron razonablemente precisos, considerando la escasez de datos del océano abierto, observándose también que las desviaciones en los valores de la precipitación predicha, estuvieron de acuerdo con el signo de las anomalías presentadas en el 80% de las veces. Lynch en 1931 (citado por Douglas, 1980) sugirió la posibilidad

de reconstruir las anomalías en la precipitación pasada para el sur de California, basándose en las anchuras anuales de los anillos arbóreos. Encontró que la correlación entre el crecimiento de los árboles y la precipitación fue suficientemente alta y pudo calcular desviaciones en la lluvia esperada hasta los años de 1700s.

LaMarche & Fritts (1971) usaron técnicas estadísticas más avanzadas para mostrar que, a gran escala, las anomalías en el crecimiento de los árboles en el oeste de los Estados Unidos y para los últimos siglos, son un reflejo de los cambios en el patrón de precipitación estacional. Las variaciones en los patrones de precipitación, están a la vez vinculados a cambios a gran escala del patrón de circulación a través del oeste de Norteamérica y el Pacífico Norte.

Arthur V. Douglas (1973) encontró que los datos estacionales de la temperatura superficial del mar pueden ser extraídos de series de anillos arbóreos.

Fritts (1974) utilizó modelos estadísticos multivariados para detectar la presencia de importantes relaciones de temperatura, precipitación y otros fenómenos correlacionados con el ancho de los anillos arbóreos de crecimiento en coníferas de lugares áridos. Mostró que para la mayor parte de las coníferas de las zonas áridas, las condiciones climáticas que ocurren para los meses anteriores al período de crecimiento, están más altamente correlacionados con las variaciones de anchos de anillos arbóreos, que las condiciones climáticas que imperan durante el período de crecimiento. Sin embargo, encontró que las co-

relaciones no son necesariamente del mismo signo o de igual importancia para el mismo factor climático en diferentes meses. Encontró también que las relaciones son normalmente complejas y que un modelo estadístico multivariado provee una solución conveniente con resultados confiables. LaMarche (1978) establece que el incremento en el impacto de la variabilidad climática sobre la humanidad nos conduce con urgencia a entender mejor cómo trabajan los sistemas climáticos de la Tierra. Las observaciones instrumentales actuales del clima son relativamente cortas y debemos procurar otras fuentes de información sobre clima pasado, que nos ayuden a desarrollar y probar los modelos que nos faciliten predecir anomalías climáticas tales como sequías prolongadas o una serie de inviernos extremadamente fríos. Los anillos arbóreos son una de las mejores fuentes de información climática substituta. Ellos pueden proveer datos anuales sobre grandes períodos y en distintos puntos del Globo, y abrir brecha entre los datos instrumentales o históricos y los más largos (en el tiempo) pero más generalizados datos geológicos. Las variaciones en el ancho de los anillos anuales reflejan la influencia de factores climáticos que limitan el proceso biológico que gobierna la formación de anillos en el árbol. El estudio de las reconstrucciones de datos de las variables climáticas tales como temperatura, precipitación, vientos y presión barométrica sobre períodos de varios cientos o varios miles de años sugieren por ejemplo que el clima del siglo pasado no es representativo de las condiciones que han prevalecido en grandes períodos. Los datos substitutos son así una gran ayuda a nuestro esfuerzo para anticipar o predecir clima futuro, el cual puede ser significativamente diferente del reciente clima pasado. Fritts (1980) presenta un avance del libro que se publicara en

1982 bajo el título "Tree-Ring Reconstructions of Past Climatic Variations" en donde aborda el problema de las reconstrucciones, utilizando las técnicas estadísticas más modernas.

Actividad solar

Se ha mostrado que la actividad solar tiene un impacto sobre las series terrestres (Waldmeier, 1961; citado por Bloomfield, 1976), especialmente sobre campos magnéticos y clima.

Existe una condición de frontera en el sistema climático que presenta variaciones significativas, las cuales podrían causar fluctuaciones y cambios climáticos en forma proporcional; ésta es la entrada de energía solar que gobierna el sistema. No obstante, el punto de vista tradicional es que la energía total que sale del sol se mantiene constante; la opinión de los físicos solares ha sido que la radiación solar que alcanza la tapa de la atmósfera terrestre no varía en el tiempo en más de una fracción del 1%; a esta energía se le ha llamado constante solar.

A mediados de 1950, Ernst Opik del observatorio de Armagh en Irlanda propuso que las variaciones internas que ocurrieron en el sol afectó su energía de salida y causó cambios climáticos sobre la tierra. Basó su teoría en que ciertos elementos del sol como magnesio, carbono, plomo, sílice, oxígeno, neon y nitrógeno se acumulan periódicamente alrededor de su centro, provocando expansión espasmódica que absorbe energía reduciendo la cantidad de energía radiada al espacio. Según Opik,

estas convulsiones solares periódicas son las causantes de los períodos de hielo sobre la tierra. Sin embargo la mayoría de los científicos no aceptan esas consideraciones físicas sobre el sol establecidas por Opik y prevalece el concepto de la constante solar.

Una característica importante del sol que ha sido ampliamente discutida es la aparición cíclica de manchas solares. Estas manchas oscuras que aparecen en el sol fueron descubiertas por Galileo alrededor del año 1600.

A mediados del siglo XIX, los astrónomos descubrieron que el número de manchas se incrementa a un máximo y después decrece a un mínimo para formar un ciclo con periodicidad promedio de 11 años, aunque puede variar en un intervalo de 8 a 15 años. En 1908, el astrónomo americano George Ellery Hale usó un magnetógrafo construido por él mismo, para determinar que las manchas solares son el efecto de grandes campos magnéticos-1000 veces más fuertes que el de la tierra y que cubren áreas en el sol más grandes que la tierra. Estos campos magnéticos son creados por movimientos de las partículas cargadas eléctricamente que constituyen la atmósfera gaseosa del sol, formando manchas oscuras que bloquean el flujo de calor y gas luminoso del interior a la superficie de éste.

Se ha establecido en años recientes que el campo magnético del sol se invierte cada vez que el número de manchas alcanza un máximo, así, en un mínimo de manchas los campos magnéticos del sol y la tierra son paralelos y al siguiente mínimo, éstos son opuestos. Por lo tanto

existe un ciclo doble de manchas solares con periodicidad de 22 años superpuesto a uno de 11 años.

La corona solar (parte más externa de la atmósfera del sol) es un halo brillante e irregular que se observa alrededor del disco negro durante un eclipse total de sol. Las altas temperaturas de la corona gobiernan el viento solar, compuesto éste de partículas subatómicas cargadas eléctricamente (protones y electrones) que fluyen continuamente hacia el espacio. Cuando las partículas del viento solar colisionan con moléculas de nitrógeno y átomos de oxígeno de la atmósfera terrestre toman electrones de éstos, dejándolos ionizados o eléctricamente cargados. Las tormentas en el sol producen disturbios en el viento solar induciendo actividad eléctrica en la atmósfera superior de la tierra. Esto se manifiesta con luces brillantes de la aurora boreal y disturbios en el campo magnético de la tierra conocidos como tormentas geomagnéticas, las cuales afectan a algunos sistemas de comunicación. Sin embargo las cantidades de energía involucradas en estos fenómenos de la atmósfera superior, se han considerado siempre pequeños para provocar efectos directos en el sistema climático. Por lo tanto no parece haber conexión entre las fluctuaciones de la actividad de manchas solares y la radiación solar total que gobierna el clima terrestre.

Algunos científicos consideraron que las manchas solares podrían bloquear parte de la energía solar y especularon que tales reducciones de energía causarían variaciones climáticas. En 1802, un astrónomo sugirió que las fluctuaciones de temperatura mostradas en las regiones lluviosas de los trópicos variaron inversamente con el número de man-

chas solares (la aparición de muchas manchas solares se ve acompañada de temperaturas mas frías). Esto se encontró razonable y lógico, ya que las manchas solares son oscuras y presumiblemente bajan la radiación solar. Investigaciones posteriores han relacionado patrones climáticos con fluctuaciones de la actividad solar, pero los resultados no han sido contundentes, por lo cual la comunidad científica permaneció escéptica. (Roberts & Lansford, 1979).

Justificación

Los registros meteorológicos cubren solamente unos pocos decenios, o hasta un siglo cuando más, lo cual es insuficiente para la formulación de modelos y la predicción del clima futuro. Pero afortunadamente la naturaleza nos proporciona indicadores del clima pasado, como son, los anillos de crecimiento anual conservados en los troncos de los árboles.

La información registrada por cada anillo de crecimiento anual puede ser de varias clases, el espesor del anillo, la densidad de la madera, la abundancia isotópica (deuterio y oxígeno-18). En el primer caso se trata de comparar el espesor de cada anillo que corresponde al período de tiempo para el cual se dispone de registros meteorológicos. Una vez obtenida la calibración, es decir, la relación entre los parámetros meteorológicos y el espesor de los anillos, se recalcula la curva de espesor de los anillos de manera tal, de obtener curvas que representen variaciones climáticas (temperatura, precipitación) o hidrológicas (escurrimiento superficial).

Las muestras que se utilizan para estos estudios se obtienen generalmente de árboles vivos, con barrenos que sacan un testigo de solo cuatro milímetros de diámetro, lo cual no perjudica el árbol de modo alguno.

El presente trabajo no contempla el muestreo de arboles en la zona de estudio, ni trabajo de muestras en el laboratorio, sino que aprovecha la información recabada de la variable precipitación en esta zona por las estaciones climatológicas, y algunas cronologías maestras construidas de la información de anillos arbóreos (como producto de investigaciones dendrocronológicas llevadas a cabo en la Sierra de San Pedro Mártir localizada en Baja California, por investigadores del Laboratorio de Anillos Arbóreos de la Universidad de Arizona) para correlacionarlas, y de ahí tener la evidencia de la bondad en el ajuste que permita reconstruir el parámetro de estudio hacia el pasado.

Agradecimientos

Como Politécnico agradezco ampliamente al Instituto Politécnico Nacional el haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente dentro de su organización, así como al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por brindarme el apoyo necesario para abordar líneas de investigación relativamente nuevas en el ámbito de las ciencias del mar.

Extiendo un reconocimiento a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por su valiosa información proporcionada, la cual es utilizada en el desarrollo de este trabajo, así mismo, a Scripps Institu

tion of Oceanography, USC y a Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Instituciones Norteamericanas (E. U.) que contribuyeron con orientación e información dendrocronológica en la que descansa gran parte de esta investigación.

Para el Dr. Daniel Lluich B. un especial agradecimiento por haber aceptado la dirección de este trabajo, que con un amplio criterio de la investigación se discutió continuamente en las diversas etapas de su desarrollo.

Cabe hacer mención a la ayuda prestada por el Oc. Héctor Vega A. en lo concerniente al sistema de graficado por computación, como también al estudiante Tanos Grayeb D.A. por su cooperación en la organización de apéndices y a la Sra. Martha A. Alvarez M. por la mecanografía de este trabajo.

Dedico este trabajo:

A mis padres:	Enrique y Candelaria
A mi esposa:	Oralia Margarita
A mis hijos:	Jacob, Livier y Edith

MATERIALES Y METODOS EMPLEADOS

Recopilación y organización de la información

Se recopiló la información acerca de la precipitación (en milímetros) en la Península de Baja California a través de datos existentes en las oficinas federales de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, así como las dendrocronologías maestras elaboradas por los investigadores del Laboratorio de Anillos Arbóreos de la Universidad de Arizona, que corresponden a algunos sitios localizados en el Estado de Baja California (Méx.), y en el sur del Estado de California (E.U.).

Se localizaron cada una de las estaciones climatológicas en una carta geográfica (ver ilustración 5). Debido a que el análisis que se llevó a cabo fue a través de series de tiempo, tomando como unidad el año solar medio se eliminaron, de las 176 estaciones bajo estudio, aquellas para las que se dispone de menos de 15 años de registros de precipitación. Con estas condiciones se analizaron únicamente 113 estaciones distribuidas geográficamente en la Península de Baja California (ver ilustración 5).

Una vez ubicadas estas estaciones, se procedió a almacenar su información en la computadora del CICIMAR-IPN (modelo PRIME 350/256 Kb compilador FORTRAN IV) en archivos de datos, construyéndose gráficas de precipitación total anual para cada una de ellas.

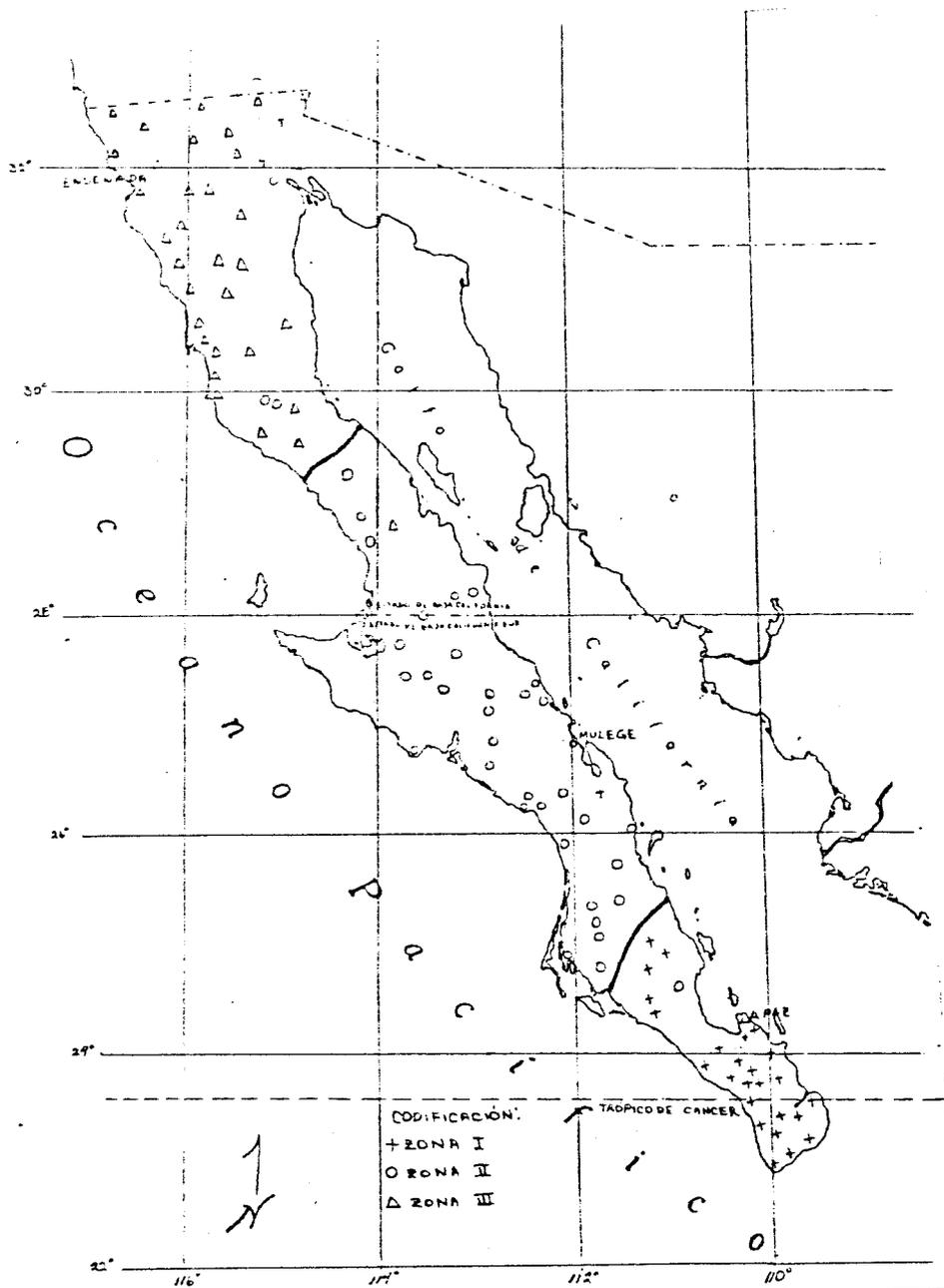


Ilustración 5. Localización de zonas con las estaciones climatológicas correspondientes.
 ZONA I (+); Lat. 23° 00' N. a Lat. 25° 00' N.
 ZONA II (O); Lat. 25° 00' N. a Lat. 29° 30' N.
 ZONA III (Δ); Lat. 29° 30' N. a Lat. 32° 32' N. aproximadamente.

Análisis y utilización de modelos estadísticos

Precipitación media anual

Con la finalidad de detectar algún ciclo en la precipitación total anual, se aplicó el modelo de promedios móviles a esta información (Makridakis y Wheelwright, 1978).

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{k=i}^{n+i-1} X_k}{n}$$

X_i : Promedio móvil

$k = 1, 2, 3, \dots, N$

N : Número de años de la serie

n : Número de años considerado en el promedio móvil

$i = 1, 2, 3, \dots, N-n+1$

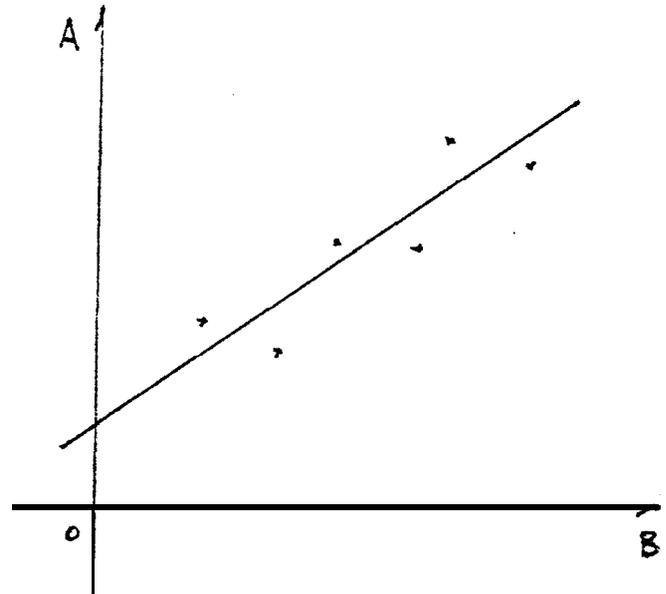
En la aplicación del modelo se consideró una corrida de 10 años, encontrándose la precipitación media anual de este parámetro en cada una de las 119 estaciones climatológicas, elaborándose además su gráfica correspondiente.

El modelo consiste en considerar las medias aritméticas de la precipitación total anual de un cierto número de años (en nuestro caso 10), y representar este promedio como la cantidad media esperada de este parámetro, en el año que se encuentra a la mitad del período del tiempo considerado para el cálculo de dicho parámetro (en este caso 5.5 años), se aplica progresivamente este promedio desde el año inicial de la información hasta el último año. Es decir, en cada paso se considera el año siguiente al límite superior del intervalo de información y se elimina el límite inferior de éste para el promedio siguiente y así sucesivamente. Como paso siguiente se localizó esta serie en el tiempo.

Después de haber obtenido precipitaciones medias anuales, se procedió a zonificar el área de estudio a través de la búsqueda de variaciones homogéneas en la precipitación, encontrándose con el modelo de correlación cruzada entre series de tiempo (Cavies, 1971) tres zonas bien definidas cuyas estaciones testigo fueron: La Paz, B. C. S., Mulegé, B. C. S. y Ensenada, B. C. (ver ilustración 5 y apéndice IV).

Modelo:

Serie A	Serie B
a_1	b_1
a_2	b_2
a_3	b_3
\vdots	\vdots
a_n	b_n



$$r = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{a}_i - \bar{a})^2}{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} \right]^{1/2} \quad : \text{coeficiente de correlación}$$

donde:

n : número de años de la serie

\hat{a}_i : valores estimados por la regresión $a_t = m_0 + m_1 bt$

a_i : valores observados

\bar{a} : valor medio

m_0 & m_1 : constantes de la ecuación de regresión

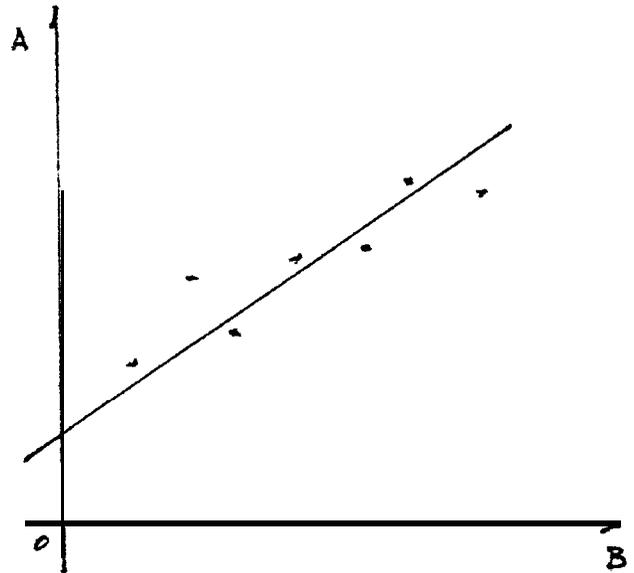
t : índice mudo que denota tiempo

Obtenidas las estaciones testigo, se utilizó el mismo modelo en los datos de la precipitación total anual de las distintas estaciones climatológicas, para agruparlas con la testigo que guardará mayor correlación y ésta fuera significativa estadísticamente.

Se utilizó también el modelo de correlación cruzada desplazada (Davies, 1971) para encontrar corrimientos en el tiempo de la serie precipitación total anual, de cada una de las estaciones climatológicas con respecto a su testigo.

Modelo:

Serie A	Serie B
a_1	...
a_2	b_1
	b_2
	\vdots
a_n	b_{n-1}
...	b_n



$$r = \left[\frac{\sum_{i=k+1}^n (\hat{a}_i - \bar{a})^2}{\sum_{i=k+1}^n (a_i - \bar{a})^2} \right]^{1/2} \quad : \text{ coeficiente de correlación}$$

donde:

- k : número de años desplazados
- n : número de años de la serie
- \hat{a}_t : valores estimados por la regresión $a_t = m_0 + m_1 t + b_{t+k}$
- a_t : valores pbservados
- a : valor medio
- m_0 & m_1 : constantes de la ecuación de regresión
- t : índice mudo que denota tiempo

El proceso anterior condujo a una agrupación de las estaciones climatológicas en: ZONA I, ZONA II y ZONA III.

Con la zonificación hecha se procedió a encontrar la precipitación media anual promedio por zonas, así como sus gráficas respectivas. Esto se llevó a cabo promediando para cada año las precipitaciones medfas correspondientes a las estaciones climatológicas en cada zona. Se aplicó el modelo de autocorrelación desplazada (Davies, 1971) a las series de tiempo en precipitación media anual por zonas, referidas en el párrafo anterior.

Modelo:

Serie A

a_1

a_2

a_3

a_n

...

Serie A

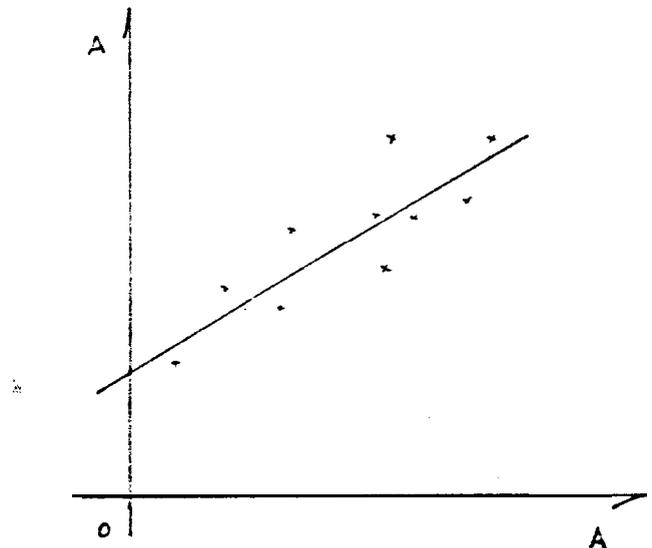
...

a_1

a_2

a_{n-1}

a_n



$$r = \frac{\left[\sum_{i=k+1}^n (\hat{a}_i - \bar{a})^2 \right]^{1/2}}{\left[\sum_{i=k+1}^n (a_i - \bar{a})^2 \right]^{1/2}} \quad : \text{coeficiente de correlación}$$

donde:

k : número de años desplazados

n : número de años de la serie

\hat{a}_i : valores estimados de la regresión $a_t = m_0 + m_1 a_{t+k}$

a_i : valores observados

\bar{a} : valor medio

m_0 & m_1 : constantes de la ecuación de regresión

t : índice mudo que denota tiempo

Se hizo una partición de cada zona, quedando dividida la ZONA I en ocho secciones, la ZONA II en seis secciones y la ZONA III en cuatro secciones. De cada una de las secciones se calculé su precipitación me dia anual promedio y se elaboraron sus gráficas respectivas.

El modelo de autocorrelación desplazada se aplicó a las series de precipitación media anual referidas en el párrafo anterior, para cada sección. Se construyeron los correlogramas de autocorrelación para cada una de las series en precipitación media anual por zonas y para cada una de las series en precipitación media anual por secciones.

Se aplicó a las series de tiempo de precipitación media anual por zonas, el modelo de componentes periódicas para periodicidades múltiples (Bloomfield, 1976), que a continuación se describe:

Análisis de Fourier

Después de haber analizado cada una de las secciones de las diferentes zonas y haber establecido la existencia de ciclos en precipitación media anual, cuya periodicidad se investigó a través del análisis de autocorrelación desplazada, evaluándose en forma aproximada, se sometieron estos resultados a un análisis por componentes periódicas para precisar dichas estimaciones.

Este análisis, también denominado análisis de Fourier, aplicado a las series de tiempo es una descomposición de la serie en una suma de componentes sinusoidales cuyos coeficientes son la transformada de Fourier discreta de la serie (Bloomfield, 1976). Sin embargo, el término no es usado en un sentido más amplio para describir cualquier procedimiento de análisis de datos que se haga para medir las fluctuaciones en una serie de tiempo comparándolas con sinusoides. Por lo tanto las oscilaciones en una serie de tiempo pueden ser descritas en términos sinusoidales a través del análisis espectral, que es un método que describe la tendencia de las oscilaciones para ciertas frecuencias que aparecen en los datos, en lugar de las oscilaciones mismas.

La propiedad fundamental de las sinusoides que las hace generalmente convenientes para el análisis de una serie de tiempo, es su comportamiento simple bajo un cambio en la escala de tiempo. Una senoide de frecuencia angular ω (radianes por unidad de tiempo) o período $2\pi/\omega$ puede ser escrita como:

$$f(t) = R \cos(\omega t + \phi)$$

donde R es la amplitud y ϕ es la fase. Si se cambia la variable tiempo

por $u = (t-a)/b$, la cual incorpora un cambio de origen y de escala, resulta:

$$g(u) = f(a + bu) = R \cos(\omega bu + \phi + \omega a)$$

$$g(u) = R' \cos(\omega' u + \phi')$$

$$\text{donde: } R' = R, \omega' = \omega b \text{ y } \phi' = \phi + \omega a$$

Esto es, la amplitud no cambia, la frecuencia es multiplicada por b y la fase es alterada por una cantidad que involucra el cambio de origen del tiempo y la frecuencia de la sinusoides. Ya que el origen del tiempo asociado con un grupo de datos es generalmente arbitrario, estas relaciones son útiles. Otra característica muy importante de las sinusoides es su comportamiento bajo muestreo, es decir si el intervalo de tiempo en el muestreo es Δ , las sinusoides

$$R \cos(\omega_1 t + \phi) \quad \& \quad R \cos(\omega_2 t + \phi)$$

son indistinguibles si $\omega_1 - \omega_2$ es un múltiplo de $2\pi/\Delta$.

Para investigar las periodicidades con el análisis de Fourier se tiene que considerar que algunos períodos están presentes en las series de precipitación media anual para cada una de las zonas de estudio, pero que además de precisar estos períodos se tienen que encontrar las amplitudes y fases asociadas.

Para estimar las amplitudes y fases asociadas con una sinusoides existen varios métodos los cuales dan resultados muy similares, uno de ellos es el siguiente:

Se considera el modelo simple de 2 parámetros. (Bloomfield, 1976)

$$X_t = A \cos \omega t + B \sin \omega t + \epsilon_t, t=0, \dots, n-1$$

donde:

X_t : Valor del t-ésimo dato

A : constante a estimar

B : constante a estimar

ω : frecuencia angular asociada

ϵ_t : t-ésimo residual

t : tiempo

El modelo anterior es la forma reducida de:

$X_t = \mu + R \cos(\omega t + \phi) + \epsilon_t$, donde μ es una constante agregada y se considera cero para este método, $A = R \cos \phi$ y $B = -R \sin \phi$; por lo tanto para cualesquier valor de A y B se puede resolver para R y ϕ mediante:

$$R = (A^2 + B^2)^{1/2} \text{ y } \phi = \arctan(-B/A) \text{ .---(1)}$$

El método consiste en considerar ω conocida y fija para mejorar el ajuste. El principio de mínimos cuadrados nos conduce a minimizar la suma de cuadrados residuales:

$$T(A, B) = \sum_{t=0}^{n-1} (X_t - A \cos \omega t - B \sin \omega t)^2$$

por lo tanto:

$$\frac{\partial T}{\partial A} = -2 \sum_{t=0}^{n-1} \cos \omega t (X_t - A \cos \omega t - B \sin \omega t)$$

$$\frac{\partial T}{\partial B} = -2 \sum_{t=0}^{n-1} \sin \omega t (X_t - A \cos \omega t - B \sin \omega t)$$

donde las ecuaciones que resultan de igualar éstas a cero, tienen la siguiente solución:

$$\hat{A} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \sum_{t=0}^{n-1} X_t \cos \omega t \sum_{t=0}^{n-1} (\sin \omega t)^2 - \sum_{t=0}^{n-1} X_t \sin \omega t \sum_{t=0}^{n-1} \cos \omega t \sin \omega t \right\}$$

$$\hat{B} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \sum_{t=0}^{n-1} X_t \sin \omega t \sum_{t=0}^{n-1} (\cos \omega t)^2 - \sum_{t=0}^{n-1} X_t \cos \omega t \sum_{t=0}^{n-1} \cos \omega t \sin \omega t \right\}$$

donde:

$$\Delta = \sum_{t=0}^{n-1} (\cos \omega t)^2 \sum_{t=0}^{n-1} (\sin \omega t)^2 - \left(\sum_{t=0}^{n-1} \cos \omega t \sin \omega t \right)^2$$

Ahora se encuentra la amplitud R y la fase ϕ a través de las ecuaciones (1), utilizando los valores estimados de A y B que son \hat{A} y \hat{B} respectivamente. La estimación para ϕ dada por $\phi = \arctan (-B/A)$ a pesar de ser una relación básica es incorrecta, ya que se obtiene el mismo valor de ϕ para $-A$ y $-B$ que para A y B , por lo tanto la solución correcta es:

$$\begin{aligned} \phi &= \arctan (-B/A) && \text{si } A > 0 \\ \phi &= \arctan (-B/A) - \pi && \text{si } A < 0 \text{ y } B > 0 \\ \phi &= \arctan (-B/A) + \pi && \text{si } A < 0 \text{ y } B \leq 0 \\ \phi &= -\frac{\pi}{2} && \text{si } A = 0 \text{ y } B > 0 \\ \phi &= \frac{\pi}{2} && \text{si } A = 0 \text{ y } B < 0 \\ \phi &= \text{arbitrario} && \text{si } A = 0 \text{ y } B = 0 \end{aligned}$$

Las ecuaciones (1) dan las relaciones entre R , ϕ , A y B , por lo tanto la precisión en la estimación de la amplitud R y la fase ϕ estarán en

función del método empleado para estimar A y B.

Para precisar alguna frecuencia en los datos existen varios métodos entre los cuales está el que utiliza el modelo de 3 parámetros "Sinusoide + Constante" (Bloomfield, 1976); este modelo establece:

$$X_t = \mu + A \cos \omega t + B \sin \omega t + \varepsilon_t$$

en donde la suma de cuadrados residuales se puede escribir como:

$$T(\mu, A, B) = T(\mu, A, B, \omega)$$

$$= \sum_{t=0}^{n-1} (X_t - \mu - A \cos \omega t - B \sin \omega t)^2$$

para ω fijo.

Al aplicar el método de mínimos cuadrados para minimizar esta suma de cuadrados residuales se obtienen \hat{A} , \hat{B} y $\hat{\mu}$, estimaciones de A, B y μ respectivamente. Se demuestra que estas estimaciones dependen del valor que se haya fijado de ω . Se ha demostrado también (Bloomfield, 1976) que para aproximaciones hechas sobre las funciones trigonométricas, la suma de cuadrados residuales una vez que se han estimado A, B y μ , se puede representar por:

$$T\{\hat{\mu}(\omega), \hat{A}(\omega), \hat{B}(\omega), \omega\} = T\{\bar{X}, \tilde{A}(\omega), \tilde{B}(\omega), \omega\}$$

$$= T(X, 0, 0, \omega) - \frac{n}{2} \{A(\omega)^2 + \tilde{B}(\omega)^2\}$$

$$= T(\bar{X}, 0, 0, \omega) - \frac{n}{2} \tilde{R}(\omega)^2$$

con $\tilde{R}(\omega)^2 = \tilde{A}(\omega)^2 + \tilde{B}(\omega)^2$ y $n =$ número de datos,

donde \bar{X} , $\tilde{A}(\omega)$, $\tilde{B}(\omega)$ son aproximaciones de $\hat{\mu}$, $\hat{A}(\omega)$ y $\hat{B}(\omega)$ respectivamente y $T(\bar{X}, 0, 0, \omega)$ representa la suma de cuadrados residuales para la constante agregada y ω fijo. Al considerar ω como una variable adicional, el mejor valor de este en el sentido de mínimos cuadrados es $\hat{\omega}$ que minimiza $T\{\hat{\mu}(\omega), \hat{A}(\omega), \hat{B}(\omega), \omega\}$ y por lo tanto será el valor que maximiza $\tilde{R}(\omega)^2$. El análisis de $\tilde{R}(\omega)^2$ se hace a través del estudio de los máximos del periodograma definido por la función

$I(\omega) = \frac{1}{n} \tilde{R}(\omega)^2$. Los máximos de estas funciones se encuentran numéricamente usando un algoritmo descrito por Richard P. Brent en 1972 (Bloomfield, 1976). La solución se encuentra numéricamente dado que las derivadas con respecto a ω de las funciones anteriores son altamente no lineales, teniendo muchos ceros e imposibilitando una solución analítica y además impidiendo la aplicación de métodos numéricos basados en gradientes engañosos, como por ejemplo el método de Newton que podría fácilmente conducirnos a un punto estacionario inadecuado.

Debido a que las series de precipitación media anual por zonas contempladas en este estudio poseen de manera tentativa más de una frecuencia, como lo sugiere el análisis previo de autocorrelación desplazada, fue necesario establecer que las series de tiempo en precipitación media anual se pueden representar por el modelo general de componentes periódicas (Bloomfield, 1976).

$$X_t = \mu + \sum_{j=1}^m (A_j \cos \omega_j t + B_j \sin \omega_j t) + \varepsilon_t$$

donde :

t : Variable tiempo

X_t : Valor del t -ésimo dato

μ : Constante a estimar

A_j : Constantes a estimar

B_j : Constantes a estimar

ω_j : Frecuencias asociadas a estimar

ε_t : Residual t -ésimo

m : número de frecuencias asociadas

Este modelo se trabajó utilizando el método de mínimos cuadrados y el método de descendencia cíclica para la estimación de cada uno de sus parámetros.

Lo primero que se hace es la minimización con respecto a μ para valores fijos de los otros parámetros, donde el valor óptimo de $\hat{\mu}$ es justamente la media de la serie corregida.

$$X_t = \sum_{j=1}^m (A_j \cos \omega_j t + B_j \sin \omega_j t), \quad t = 0, 1, \dots, n-1$$

El siguiente paso es variar ω_k , A_k y B_k manteniendo los otros parámetros fijos, por lo tanto el problema es minimizar.

$$\sum_{t=0}^{n-1} \left\{ X_t - \mu - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m (A_j \cos \omega_j t + B_j \sin \omega_j t) - A_k \cos \omega_k t - B_k \sin \omega_k t \right\}^2$$

$$= \sum_{t=0}^{n-1} (Y_t - A_k \cos \omega_k t - B_k \text{sen } \omega_k t)^2$$

donde
$$Y_t = X_t - \mu - \sum_{j \neq k} (A_j \cos \omega_j t + B_j \text{sen } \omega_j t)$$

La optimización con respecto a ω_k , A_k y B_k puede hacerse recordando que el mejor valor de ω_k según el método de mínimos cuadrados es aquel que maximiza a: $\hat{R}(\omega)^2 = \hat{A}(\omega)^2 + \hat{B}(\omega)^2$

Así, un ciclo del método de descendencia cíclica consiste de dos pasos:

- i) Corregir los datos para todas las componentes periódicas y estimar μ por la media de las series corregidas.
- ii) Para k que varía de 1 a m , corregir las series para la media μ y las otras componentes; entonces estimar ω_k , A_k y B_k de las series corregidas.

Para llevar a cabo las estimaciones de los parámetros del modelo genera? de componentes periódicas para cada una de las zonas de estudio, se utilizó un programa FORTRAN basado en el algoritmo del método de descendencia cíclica (Bloomfield, 1976), el cual consiste de un programa principal, cuatro subrutinas y dos subprogramas función, en donde la primer subrutina es usada para proporcionar la información de las variables dependientes e independientes, la segunda subrutina implementa el algoritmo para el ajuste por mínimos cuadrados, la tercera subrutina calcula las sumatorias de las funciones senos y cosenos, la cuarta subrutina estima por mínimos cuadrados los coeficientes de las funciones seno y coseno de una componente periódica, el primer subprograma función implementa el algoritmo de minimización sin derivadas propuesto por Richard Brent (1972) para estimar la frecuencia óptima y el segundo

subprograma función calcula la suma de cuadrados exactos o aproximados asociados con la frecuencia. El programa principal contiene una variable lógica que funciona como interruptor para seleccionar optimizaciones exactas o aproximadas de las frecuencias por el método de mínimos cuadrados.

Con el modelo de cinco componentes periódicas ajustado, se obtuvo un pronóstico en la precipitación media anual a ± 100 años para cada zona, a partir del límite inferior y superior del intervalo de información. Con la finalidad de encontrar posibles relaciones entre los patrones de variación presentados por las diferentes zonas, se calcularon las correlaciones entre sus series de precipitación media anual a partir del modelo de correlación cruzada desplazada.

Cronología maestra de precipitación anual

Como parte de este trabajo se planteó la posibilidad de identificar años húmedos y años secos. Para lograr esto se trabajó con índices matemáticos que relacionan la precipitación observada con la esperada:

$$I_t = (Pot/Pet) (100)$$

I_t : Índice de precipitación al tiempo t

Pot : Precipitación observada al tiempo t

Pet : Precipitación esperada al tiempo t

Lo anterior se fundamenta en el método de descomposición clásica (Makridakis y Wheelwright, 1978).

Recalcando que los índices de precipitación manifiestan las varia-

ciones de la precipitación observada con respecto a la precipitación esperada que se evaluó a través de promedios móviles, se puede decir que estas variaciones son de carácter estacional. Al aplicar promedios móviles de 10 años se está eliminando cualquier variación estacional con esta periodicidad, pero no otras variaciones con periodicidades menores que se manifestarán en forma aleatoria (ruido) como lo estipula el método de descomposición clásica de relación multiplicativa.

$$X_t = S_t T_t C_t R_t$$

donde:

X_t : es la serie de tiempo

S_t : denota estacionalidad

T_t : denota tendencia

C_t : denota ciclos

y R_t : denota aleatoriedad

si consideramos $M_t = T_t C_t$ como el promedio móvil entonces el índice de precipitación definido por $I_t = X_t/M_t$ queda expresado como:

$$I_t = \frac{X_t}{M_t} = \frac{S_t T_t C_t R_t}{T_t C_t} = S_t R_t$$

indicando que está compuesta por una variación estacional y por una variación aleatoria o ruido. Se observa además que esta variación estacional no refleja periodicidades mayores a? número de años considerados para el promedio móvil, ya que el análisis de éste contempla dichas periodicidades. Cuando se analizó la serie de precipitación media anual a través de componentes periódicas se estimaron cinco frecuencias en cada zona, cuatro de ellas corresponden a períodos superiores al número

de años considerados para el promedio móvil y la última corresponde a una periodicidad menor que en poco contribuye a la explicación de la variabilidad en esta serie y que por lo tanto podría haberse considerado como una variación aleatoria, sin embargo, ésta refleja una variación estacional.

Con el planteamiento anterior en mente, se calcularon los índices anuales de precipitación con sus respectivas gráficas, para cada una de las estaciones climatológicas que integraron este estudio. Tomando en cuenta la zonificación hecha de la Península de Baja California, se consideraron las estaciones climatológicas integrantes de cada una de las zonas resultantes para construir su cronología maestra de precipitación. Esto se llevó a cabo promediando para cada año los índices correspondientes de precipitación en todas las estaciones de la zona considerada. Así se obtuvieron tres cronologías maestras de precipitación, una para cada zona. Estas cronologías maestras en cada una de las zonas representan las variaciones estacionales cuya periodicidad es menor de los 10 años considerados en el promedio móvil y a la vez indican la frecuencia de aparición de años húmedos y años secos con respecto a la precipitación esperada. Recordando como se define el índice de precipitación, un valor de éste indica el por ciento de precipitación observada en relación a la esperada, es decir un valor del índice inferior o superior a 100 representa un año seco o un año húmedo respectivamente. (ver tablas 17, 18, 19 y gráficas 13, 14 y 15).

Se aplicó el modelo de autocorrelación desplazada (Davies, 1971) a cada una de las cronologías maestras de precipitación por zonas, cons-

truyéndose los correlogramas correspondientes.

Relación entre las cronologías maestras de precipitación anual y las dendrocronologías maestras disponibles

Utilizando el modelo de correlación cruzada desplazada se calcularon las correlaciones y significancias entre las dendrocronologías maestras existentes en el Estado de Baja California (México), Sur de California (E.U.) y las cronologías maestras de precipitación anual por zonas.

Se sometieron las dendrocronologías maestras existentes en el Estado de Baja California (México) a un análisis de correlación cruzada entre ellas, constatando que tan dependientes son unas de otras. Se construyó una dendrocronología maestra media con cuatro dendrocronologías maestras del Estado de Baja California (México): dos de Tasajera, B.C., una de Vallecito, B.C. y una de San Pedro Mártir, B.C. Se aplicó el modelo de regresión lineal múltiple para k variables independientes a la información proporcionada por la dendrocronología maestra media (Makridakis y Wheelwright, 1978).

Modelo:

$$Y = a_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k$$

donde:

k : número de variables independientes

X_i : i -ésima variable independiente

b_i : coeficiente de la i -ésima variable independiente

a_0 : intersección del hiperplano con el eje de la variable dependiente

Y : variable dependiente

i : 1,2,3,...,k

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{Y}_j - \bar{Y})^2}{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2} : \text{coeficiente de determinación}$$

donde:

n : número de datos

Y_j : j -ésimo valor observado de la variable dependiente

\hat{Y}_j : j -ésimo valor calculado por la regresión múltiple de la variable dependiente.

\bar{Y} : valor medio de la variable dependiente

Para el modelo anterior se seleccionaron cinco variables independientes que fueron :

$X_1 = \text{DC.M. } (-2)$: dendrocronología maestra media con retardo de dos años.

$X_2 = \text{DC.M. } (-1)$: dendrocronología maestra media con retardo de un año.

$X_3 = \text{DC.M.}$: dendrocronología maestra media sin retardo.

$X_4 = \text{DC.M. } (+1)$: dendrocronología maestra media adelantada un año.

$X_5 = \text{DC.M. } (+2)$: dendrocronología maestra media adelantada dos años.

$Y = \text{C.M.P.}$: cronología maestra de precipitación en el año de DC.M.

La aplicación del modelo de regresión lineal múltiple fue para cada una de las zonas de estudio.

Se reconstruyó hacia 21 pasado la cronología maestra de precipitación para la ZONA III, basándose en el modelo de regresión lineal múltiple y se le sometió a un análisis de autocorrelación desplazada, construyéndose el correlograma correspondiente.

RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla de estaciones climatológicas del apéndice I se encuentran para los Estados de Baja California y Baja California Sur la localización de cada estación, así como su período de información de precipitación total.

En las gráficas del apéndice I se observa el patrón de variación de la precipitación total anual a través del tiempo, para cada una de las estaciones climatológicas.

En el apéndice II se tienen los resultados de la aplicación del modelo de promedios móviles a la precipitación total anual observada, con 10 años de corrimiento. La notación de los años en las tablas de precipitación media, indican el efecto de haber situado el promedio en el punto central del intervalo de tiempo considerado para tales promedios. Las gráficas obtenidas de estos promedios se encuentran a continuación de las tablas anteriores, en las cuales se aprecia una disminución en la variabilidad original, reflejo de la aplicación del promedio móvil.

Los índices anuales resultantes en la precipitación para cada una de las estaciones climatológicas se integran en tablas del apéndice III, en donde al igual que la precipitación media anual, los años se representan con terminación decimal de 0.5, debido a que la relación precipitación total anual - precipitación media anual, se calculó en base a esta última variable. El índice anual de la precipitación que aparece en las tablas anteriores, está representando en tanto por ciento lo observado con respecto a lo esperado. Las gráficas de estos índices que se encuentran en el mismo apéndice III, revelan una

periodicidad más clara que los datos de precipitación total anual. Los puntos que se encuentran por arriba del valor de 100, indican que la precipitación fue más allá de lo esperado, subsecuentemente los valores por debajo de 100, representan años secos, es decir, la precipitación real fue inferior a la esperada.

En el apéndice IV, se dan las correlaciones resultantes que se obtuvieron entre las estaciones que se eligieron como testigo. Aquí se observa que la correlación entre La Paz, B.C.S. y Mulegé, B.C.S., con 60 años de información común es de 0.1541, siendo ésta no significativa al 1% ni al 5%; lo mismo acontece con la correlación entre La Paz, BCS y Ensenada, BC, en donde se obtuvo una correlación de 0.1391 con 71 años de información común, pero sin significancia estadística para los niveles anteriores; así también la correlación de -0.1260 encontrada entre Ensenada, BC y Mulegé, BCS, revela que no existe significancia a pesar de los 55 años de información común. En este mismo apéndice se presentan tablas de las correlaciones existentes, entre cada una de las estaciones climatológicas de la Península de Baja California y las estaciones testigo, se da el número de años de información común y se establece la existencia o no de significancia estadística de esta correlación, para los niveles del 1% y del 5%. Existen también tablas de los resultados obtenidos al aplicar el modelo de correlación cruzada desplazada, entre las diferentes estaciones climatológicas y las estaciones testigo. Se puede observar la variación del coeficiente de correlación cuando una serie es desplazada en el tiempo en ambos sentidos con respecto a otra serie. Se presentan además tablas de las estaciones climatológicas que integraron cada una de las zonas de precipitación homogénea, como resultado de análisis de correlación cruzada y su significancia estadística (zonificación). Igualmente se presentan en este apéndice

ce tablas de precipitación media anual por zonas, como resultado de haber agrupado en la ZONA I a 32 estaciones climatológicas, en la ZONA II a 38 estaciones y 33 estaciones quedaron en la ZONA III, encontrándose 16 estaciones que no se correlacionaron significativamente con ninguna de las estaciones testigo y por lo tanto no se incluyeron en el análisis posterior. Cabe aclarar que todas las medidas de precipitación están en milímetros.

Se encuentran también en el mismo apéndice los resultados de cada una de las secciones que constituyen las zonas de estudio, presentándose tablas de las estaciones climatológicas que integran las diferentes secciones, así como los resultados de la precipitación media anual por secciones con sus gráficas correspondientes. Se exhiben también los resultados de 7 análisis de autocorrelación desplazada a través de una serie de tablas; además, los correlogramas correspondientes contruidos para fa posible detección de periodicidades.

En el apéndice V se encuentran las correlaciones cruzadas desplazadas que resultaron al relacionar las cronologías maestras de precipitación por zonas con cada una de las nueve dendrocronologías maestras consideradas en este estudio. Se presentan además las significancias encontradas en las correlaciones anteriores y los años desplazados entre las dos series. Se observa en este apéndice la información necesaria para la aplicación del modelo de regresión lineal múltiple de la ZONA I y de la ZONA II, así como el resultado del ajuste de dicho modelo.

Como resultado de haber aplicado el modelo de promedios móviles se obtienen las precipitaciones medias anuales por zonas con sus gráficas correspondientes. Aplicando después el análisis de autocorrelación desplazada a cada

una de las series de tiempo se obtiene el patrón de variación del coeficiente de correlación con su correlograma respectivo. Estos resultados se observan para la ZONA I en la tabla 1, gráfica 1, tabla 2 y gráfica 2; para la ZONA II en la tabla 3, gráfica 3, tabla 4 y gráfica 4; para la ZONA III en la tabla 5, gráfica 5, tabla 6 y gráfica 6 respectivamente.

Para este trabajo de investigación se consideraron diferentes subconjuntos de posibles frecuencias contenidas en los datos de la serie de precipitación media anual para cada una de las zonas de estudio, tomando en consideración para la elección de estos subconjuntos, las periodicidades sugeridas por el análisis de autocorrelación desplazada que previamente se llevó a cabo.

En base a la minimización de la suma de cuadrados residuales, se consideró que un modelo de periodicidad múltiple para cinco componentes periódicas explica satisfactoriamente y en gran porcentaje la dispersión o variabilidad exhibida por los datos.

El subconjunto de frecuencias propuestas que fueron sometidas al modelo de periodicidad múltiple y que produjeron el mejor ajuste según el método de mínimos cuadrados son:

$$\omega_1 = 0.07 \text{ rad/año}$$

$$\omega_2 = 0.14 \text{ rad/año}$$

$$\omega_3 = 0.28 \text{ rad/año}$$

$$\omega_4 = 0.56 \text{ rad/año}$$

$$\omega_5 = 1.12 \text{ rad/año}$$

PRECIPITACION MEDIA ANUAL DE LA ZONA I

AÑOS	P. MED.	AÑOS	P. MED.	AÑOS	P. MED.
1911	169.65	1912	175.03	1913	137.90
1914	163.48	1915	161.73	1916	154.48
1917	136.97	1918	126.50	1919	138.57
1920	127.65	1921	124.12	1922	121.50
1923	128.82	1924	129.68	1925	144.88
1926	151.92	1927	167.08	1928	177.67
1929	132.48	1930	163.33	1931	205.90
1932	208.43	1933	196.64	1934	212.04
1935	232.57	1936	226.35	1937	248.85
1938	261.40	1939	318.09	1940	310.19
1941	211.40	1942	212.59	1943	214.59
1944	259.38	1945	261.20	1946	259.94
1947	240.46	1948	282.25	1949	247.31
1950	251.37	1951	256.56	1952	262.80
1953	267.00	1954	259.14	1955	244.83
1956	249.14	1957	247.47	1958	253.93
1959	256.52	1960	249.50	1961	251.70
1962	242.43	1963	252.47	1964	229.94
1965	207.58	1966	199.27	1967	178.56
1968	213.29	1969	206.17	1970	211.99
1971	202.17	1972	223.81	1973	233.93
1974	237.63	1975	251.61	1976	247.11
1977	266.26				

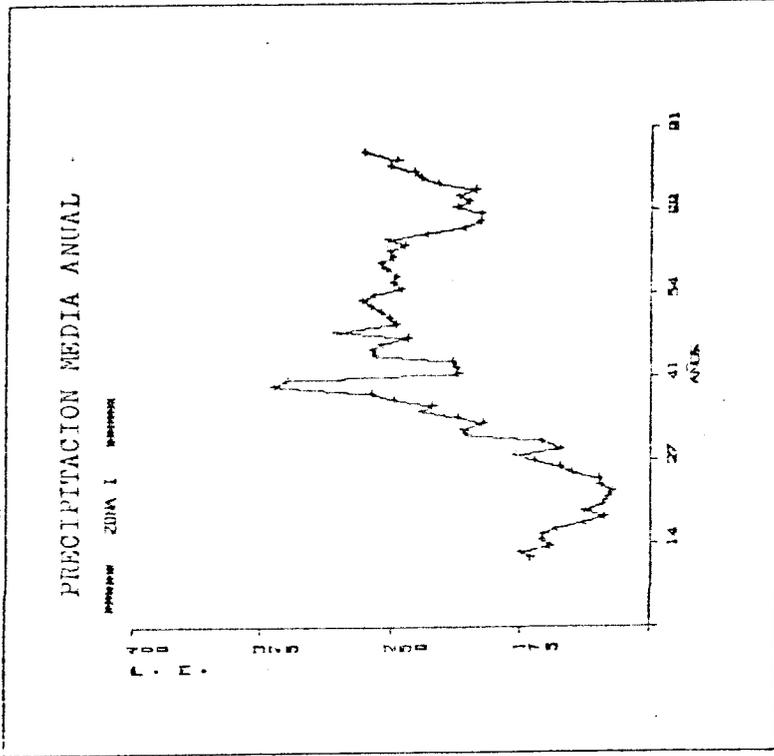
TAB. 1

TABLA DE AUTOCORRELACIONES DESPLAZADAS PARA LA SERIE DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL

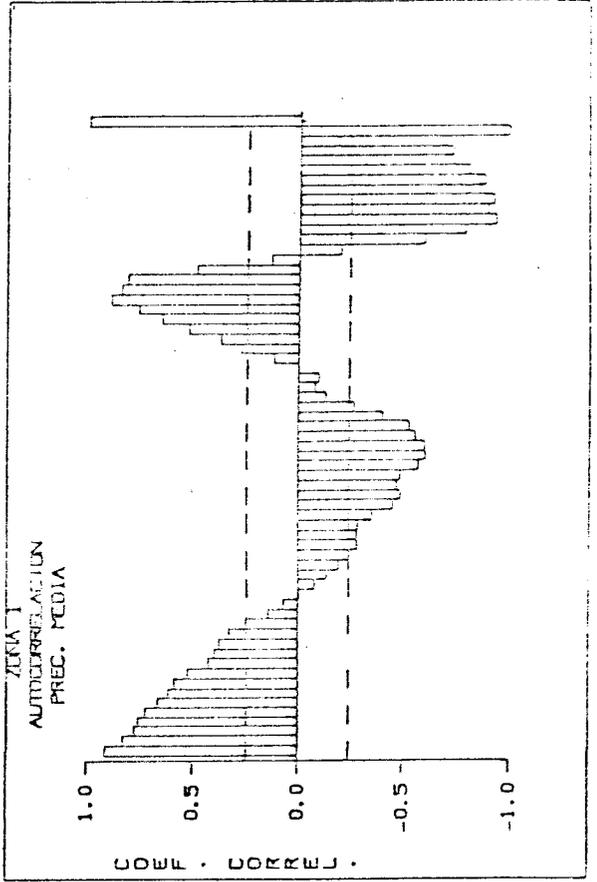
ZONA I

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.9122	2	0.8377
3	0.7747	4	0.7576
5	0.7251	6	0.6660
7	0.6170	8	0.5884
9	0.5243	10	0.4398
11	0.3991	12	0.3754
13	0.3264	14	0.2423
15	0.1395	16	0.0640
17	-0.0060	18	-0.0776
19	-0.1344	20	-0.1921
21	-0.2412	22	-0.2831
23	-0.2800	24	-0.2876
25	-0.3540	26	-0.4509
27	-0.4909	28	-0.4676
29	-0.4835	30	-0.5730
31	-0.6066	32	-0.5985
33	-0.9553	34	-0.5255
35	-0.4006	36	-0.2655
37	-0.1298	38	-0.0797
39	-0.0995	40	-0.0019
41	0.1167	42	0.2738
43	0.3727	44	0.5207
45	0.6437	46	0.7562
47	0.8867	48	0.8401
49	0.8075	50	0.4869
51	0.1281	52	-0.2006
53	-0.3936	54	-0.7857
55	-0.9285	56	-0.8875
57	-0.8205	58	-0.7963
59	-0.8793	60	-0.8093
61	-0.7277	62	-0.7270
63	-0.1863	64	-0.9763
65	1.0000		

TAB. 2



GRAF. 1



GRAF. 2

PRECIPITACION MEDIA ANUAL DE LA ZONA II

AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.
1904	42.10	1907	60.29	1908	56.36
1909	55.54	1910	55.92	1911	48.50
1912	54.08	1913	60.22	1914	66.85
1915	72.25	1916	86.40	1917	93.41
1918	101.88	1919	111.29	1920	122.96
1921	124.01	1922	122.46	1923	110.04
1924	118.79	1925	111.43	1926	98.51
1927	92.03	1928	86.21	1929	77.07
1930	95.20	1931	112.97	1932	126.66
1933	125.46	1934	131.49	1935	139.66
1936	144.00	1937	151.35	1938	151.41
1939	139.89	1940	151.24	1941	125.91
1942	132.00	1943	134.87	1944	108.38
1945	99.17	1946	78.79	1947	97.43
1948	104.19	1949	108.06	1950	111.34
1951	106.89	1952	100.90	1953	110.22
1954	113.08	1955	125.16	1956	132.77
1957	134.39	1958	153.71	1959	129.12
1960	116.90	1961	130.52	1962	121.36
1963	131.28	1964	125.36	1965	118.34
1966	113.63	1967	111.26	1968	111.14
1969	112.81	1970	119.71	1971	110.36
1972	112.23	1973	100.53	1974	107.06
1975	110.11	1976	108.39	1977	110.85

TAB. 3

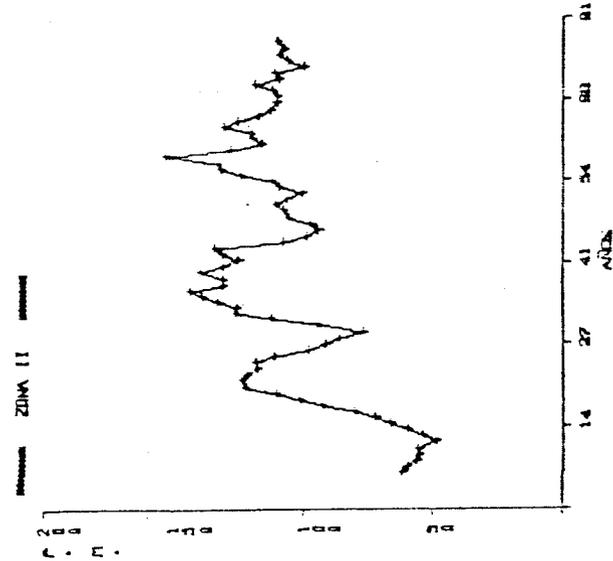
TABLA DE AUTOCORRELACIONES DESPLAZADAS PARA LA SERIE DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL

ZONA II

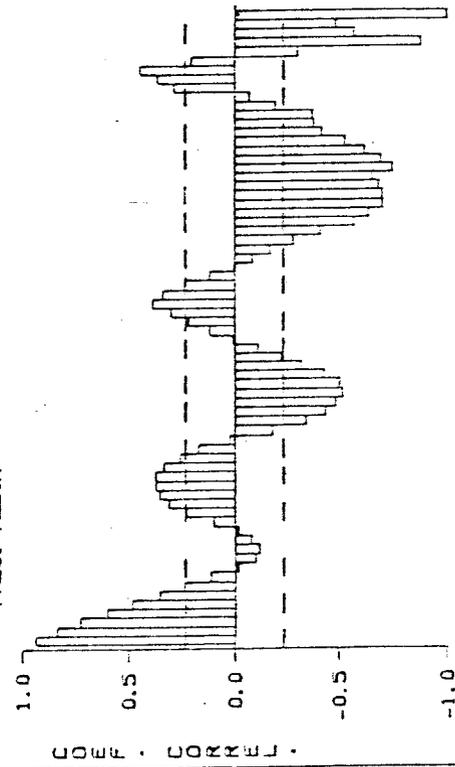
NUMERO DE AÑOS DESPLAZADO	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.9350	2	0.8367
3	0.7260	4	0.6044
5	0.4842	6	0.3552
7	-0.2404	8	0.1149
9	-0.0169	10	-0.0994
11	-0.1167	12	-0.0803
13	-0.0139	14	0.0994
15	0.2314	16	0.3133
17	0.3340	18	0.3729
19	0.3761	20	0.3372
21	0.2617	22	0.1710
23	0.0227	24	-0.1600
25	-0.3420	26	-0.4350
27	-0.4826	28	-0.5178
29	-0.5047	30	-0.4326
31	-0.3223	32	-0.2220
33	-0.1101	34	0.0102
35	0.1211	36	0.2214
37	0.3015	38	0.3903
39	0.3432	40	0.2423
41	0.1175	42	0.0028
43	-0.0837	44	-0.1717
45	-0.2817	46	-0.4109
47	-0.5707	48	-0.6377
49	-0.7050	50	-0.7046
51	-0.6852	52	-0.6563
53	-0.7512	54	-0.6788
55	-0.6186	56	-0.5259
57	-0.4189	58	-0.3761
59	-0.3724	60	-0.1953
61	-0.0695	62	0.2907
63	0.3675	64	0.4476
65	0.2077	66	-0.2998
67	-0.8825	68	-0.5724
69	-0.4854	70	-1.0010

TAB. 4

PRECIPITACION MEDIA ANUAL



ZONA II
AUTOCORRELACION
PREC. MEDIA



GRAF. 4

GRAF. 3

PRECIPITACION MEDIA ANUAL DE LA ZONA III

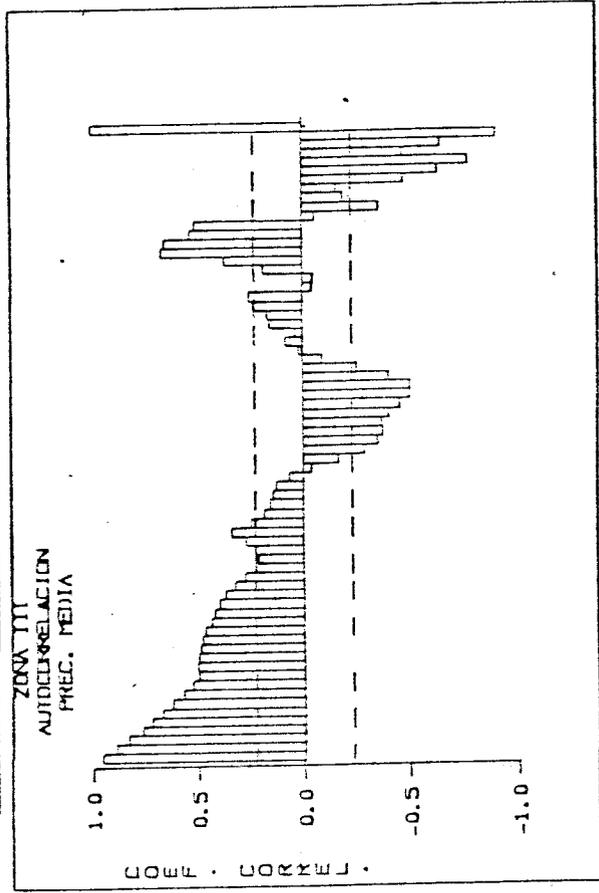
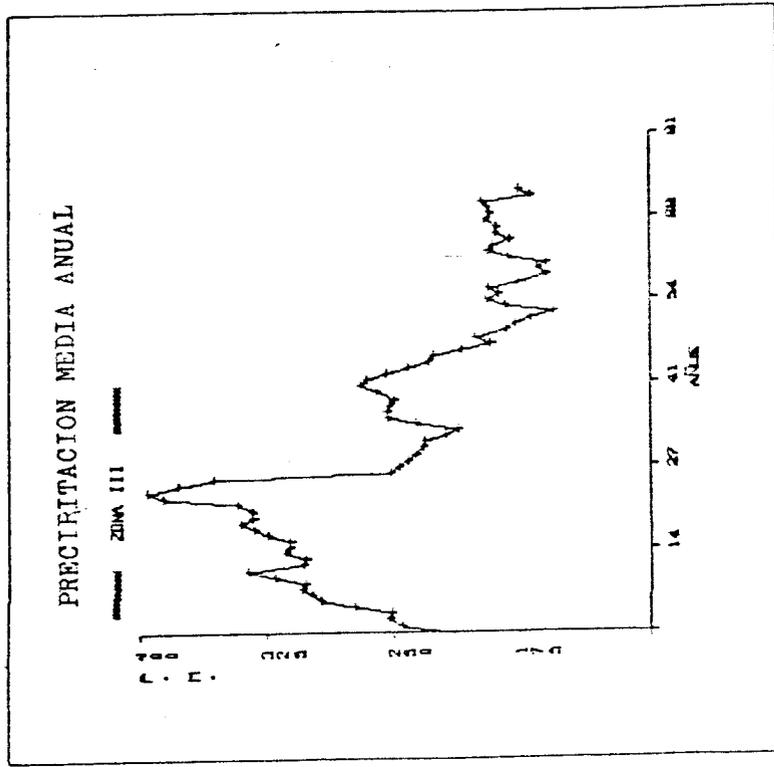
AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.
1899	223.23	1900	214.70	1901	244.25
1902	252.15	1903	250.40	1904	273.40
1905	243.45	1906	249.40	1907	304.91
1908	303.28	1909	321.55	1910	332.78
1911	304.54	1912	302.75	1913	314.74
1914	312.39	1915	311.29	1916	324.85
1917	332.91	1918	340.96	1919	333.40
1920	354.30	1921	343.07	1922	386.73
1923	393.89	1924	377.59	1925	357.14
1926	231.59	1927	246.45	1928	241.70
1929	237.14	1930	232.48	1931	231.54
1932	219.15	1933	212.05	1934	236.94
1935	253.30	1936	253.93	1937	252.21
1938	249.90	1939	260.50	1940	270.50
1941	266.73	1942	254.20	1943	241.17
1944	230.06	1945	226.82	1946	209.81
1947	192.54	1948	202.07	1949	182.90
1950	177.63	1951	168.96	1952	154.13
1953	183.96	1954	144.77	1955	187.81
1956	193.83	1957	175.82	1958	160.09
1959	145.04	1960	159.92	1961	182.28
1962	194.34	1963	190.65	1964	180.93
1965	189.80	1966	189.20	1967	196.27
1968	192.90	1969	194.85	1970	197.67
1971	169.42	1972	175.10		

TAB. 5

TABLE DE AUTOCORRELACIONES DESPLAZADAS PARA LA SERIE DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL ZONA III

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.9559	2	0.8942
3	0.8314	4	0.7474
5	0.7214	6	0.6770
7	0.6253	8	0.5756
9	0.5300	10	0.5023
11	0.5052	12	0.5025
13	0.4922	14	0.4817
15	0.4653	16	0.4400
17	0.4224	18	0.4000
19	0.3697	20	0.3228
21	0.2771	22	0.2359
23	0.2163	24	0.2321
25	0.2731	26	0.3398
27	0.2483	28	0.1884
29	0.1564	30	0.1411
31	0.1270	32	0.0684
33	-0.0418	34	-0.1721
35	-0.2090	36	-0.3850
37	-0.3742	38	-0.5723
39	-0.4067	40	-0.4502
41	-0.5058	42	-0.5074
43	-0.4070	44	-0.2558
45	-0.0919	46	0.0172
47	0.0799	48	0.0347
49	0.1598	50	0.1700
51	0.2348	52	0.2547
53	-0.0443	54	-0.0504
55	0.1874	56	0.3723
57	0.6714	58	0.6573
59	0.5369	60	0.5081
61	-0.0590	62	-0.3622
63	-0.1933	64	-0.1653
65	-0.4803	66	-0.6384
67	-0.7794	68	-0.4744
69	-0.6555	70	-0.9091
71	1.0000		

TAB. 6



GRAF. 5

GRAF. 6

que corresponden respectivamente a los períodos

$$T_1 = 89.7 \text{ años}$$

$$T_2 = 44.8 \text{ años}$$

$$T_3 = 22.4 \text{ años}$$

$$T_4 = 11.2 \text{ años}$$

$$T_5 = 5.6 \text{ años}$$

Las frecuencias óptimas de las series de precipitación media anual obtenidas del análisis de Fourier a través del método de descendencia cíclica propuesto por Brent (1972), para cada una de las zonas de estudio se presentan en la tabla 7. Se observan también los coeficientes de las funciones coseno (A_j) y seno (B_j) para las cinco componentes periódicas de cada zona, así como sus períodos correspondientes. Además, se tienen en la tabla los coeficientes de correlación encontrados para este modelo.

Aplicación del modelo de periodicidad múltiple por zonas

ZONA 1

En esta zona se obtuvo:

$$\hat{\mu} = 222.442 \dots \text{estimación de la constante } \mu$$

$$SCR = 13,391.9 \dots \text{estimación de la suma de cuadrados residual}$$

$$SCT = 164,241.2 \dots \text{estimación de la suma total de cuadrados}$$

$$r = 0.958 \dots \text{coeficiente de correlación muestral}$$

por lo tanto el modelo ajustado a cinco componentes periódicas que des-

TABLA DE COMPONENTES PERIODICAS SEGUN EL MODELO DE PERIODICIDAD MULTIPLE PARA 5 FRECUENCIAS.

Z O N A I

C O E F I C I E N T E S		FRECUENCIA	PERIODO
A _J	B _J	W _J (rad/año)	T _J (años)
-41.1343	-18.2462	0.0587016	107.04
-24.5770	-35.5365	0.1276178	49.23
12.1455	9.3611	0.2751842	22.51
-0.6226	10.2933	0.5281078	11.69
-6.6372	-4.2931	1.0311067	6.09

COEFICIENTE DE CORRELACION: 0.957

Z O N A I I

C O E F I C I E N T E S		FRECUENCIA	PERIODO
A _J	B _J	W _J (rad/año)	T _J (años)
-21.8087	-10.6385	0.0839254	74.87
-16.5564	-3.0798	0.1511974	41.56
-4.7847	-16.1836	0.3270605	19.21
-2.6720	4.8817	0.5362197	11.72
-2.1351	-1.1115	1.1438489	5.49

COEFICIENTE DE CORRELACION: 0.952

Z O N A I I 1

C O E F I C I E N T E S		FRECUENCIA	PERIODO
A _J	B _J	W _J (rad/año)	T _J (años)
-54.3568	74.0562	0.1008631	62.29
0.0508	44.6576	0.1624525	38.68
15.0026	26.3601	0.3292269	19.08
11.5487	3.5987	0.5747558	10.93
3.7589	-2.3577	1.2633421	4.97

COEFICIENTE DE CORRELACION: 0.961

cribe la variable precipitación media anual en la zona se puede escribir:

$$\begin{aligned}
 X_t = & 222.442 - 41.1343 \cos 0.0587016 t - 18.2462 \operatorname{sen} 0.0587016 t \\
 & - 24.5770 \cos 0.1276178 t - 35.5355 \operatorname{sen} 0.1276178 t \\
 & + 12.1455 \cos 0.2791842 t + 9.36107 \operatorname{sen} 0.2791342 t \\
 & - 0.622596 \cos 0.5281078 t + 50.2933 \operatorname{sen} 0.5281038 t \\
 & - 6.63715 \cos 1.0311067 t - 4.29311 \operatorname{sen} 1.0311067 t
 \end{aligned}$$

donde $t = 0, 1, \dots, n-1$

pero recordando que la amplitud $\hat{R}_i(\omega) = \hat{A}(\omega)^2 + \hat{B}(\omega)^2$ y el desfase $\phi = \arctan(-B/A)$ podemos expresar el modelo anterior por:

$$\begin{aligned}
 X_t = & 222.442 + 45.0 \cos(0.0587016 t + 2.7) + 43.2 \cos(0.3276178 t + 2.2) \\
 & + 15.3 \cos(0.2791842 t - 0.7) + 10.3 \cos(3.5281078 t - 1.6) \\
 & + 7.9 \cos(1.0311067 t + 2.6)
 \end{aligned}$$

donde: $t = 0, 1, \dots, 66$ que corresponden a los años de 1911 hasta 1977..

Las amplitudes y fases estimadas para las cinco componentes periódicas de la ZONA I son:

Amplitud (mm.)	Fase (rad.)
$\hat{R}_1 = 45.0$	$\hat{\phi}_1 = 2.7$
$\hat{R}_2 = 43.2$	$\hat{\phi}_2 = 2.2$
$\hat{R}_3 = 15.3$	$\hat{\phi}_3 = -0.7$
$\hat{R}_4 = 10.3$	$\hat{\phi}_4 = -1.6$
$\hat{R}_5 = 7.9$	$\hat{\phi}_5 = 2.6$

ZONA II

Al someter el subconjunto de frecuencias propuestas al modelo de periodicidad múltiple para la zona, se obtuvo:

- $\hat{\mu} = 106.505$estimación de la constante μ
- SCR = 3,966.45....estimación de la suma de cuadrados residual.
- SCT = 42,420.35...estimación de la suma total de cuadrados.
- $r = 0.952$coeficiente de correlación muestral

de donde el modelo ajustado para cinco componentes periódicas que describe la variable precipitación media anual en la zona puede representarse por:

$$X_t = 106.505 - 21.8087 \cos 0.0839254 t - 10.6385 \sin 0.0839254 t \\ - 16.5564 \cos 0.1511974 t - 3.07976 \sin 0.1511974 t \\ - 4.78474 \cos 0.3270605 t - 16.1836 \sin 0.3270605 t \\ - 2.6703 \cos 0.536219 t + 4.88168 \sin 0.536219 t \\ - 2.13506 \cos 1.1438489 t - 1.11147 \sin 1.1438489 t$$

con $t = 0, 1, \dots, n-1$

como se conoce que la amplitud y defasamiento se pueden expresar por $\hat{R}(\omega)^2 = \hat{A}(\omega)^2 + \hat{B}(\omega)^2$ y $\phi = \arctan \{-B/A\}$ respectivamente, se tiene:

amplitud (mm.)	fase (rad.)
$\hat{R}_1 = 24.3$	$\hat{\phi}_1 = 2.7$
$\hat{R}_2 = 16.8$	$\hat{\phi}_2 = 3.0$
$\hat{R}_3 = 16.9$	$\hat{\phi}_3 = 1.9$
$\hat{R}_4 = 5.6$	$\hat{\phi}_4 = -2.1$
$\hat{R}_5 = 2.4$	$\hat{\phi}_5 = 2.7$

entonces, el modelo ajustado de cinco componentes periódicas para la ZONA II queda:

$$X_t = 106.505 + 24.3 \cos (0.0839254 t + 2.7) \\ + 16.8 \cos (0.1511974 t + 3.0) + 16.9 \cos (0.3270605 t + 1.9) \\ + 5.6 \cos (0.1362197 t - 2.1) + 2.4 \cos (1.1438439 t + 2.7)$$

donde $t=0,1,\dots,71$ que corresponde a los años de 1906 hasta 1977.

ZONA III

Después de un análisis similar para esta zona, se encuentran las estimaciones siguientes

$$\hat{\mu} = 247.108 \dots \text{estimación de la constante} \\ SCR = 21,276.3 \dots \text{estimación de la suma de cuadrados residual} \\ SCT = 281,511.94 \dots \text{estimación de la suma total de cuadrados.} \\ r = 0.961 \dots \text{coeficiente de correlación muestral.}$$

entonces, el modelo ajustado a cinco componentes periódicas que representa la variable precipitación media anual en la zona puede escribirse como:

$$X_t = 247.108 - 54.3508 \cos 0.1008631t + 74.0562 \sin 0.1008631t \\ + 0.0538178 \cos 0.1624525t + 44.6576 \sin 0.1624525t \\ + 15.0026 \cos 0.3292269t + 26.3601 \sin 0.3292269t \\ + 11.5487 \cos 0.5747558t + 3.58874 \sin 0.5747558t \\ + 3.75893 \cos 1.2633421t - 2.35771 \sin 1.2633421t \\ \text{donde } t=0,1,\dots,n-1$$

aplicando las relaciones para la amplitud, $\hat{R}(\omega)^2 = \hat{A}(\omega)^2 + \hat{B}(\omega)^2$ y el defasamiento, $\phi = \arctan(-B/A)$, se encuentra:

amplitud (mm)	fase (rad.)
$\hat{R}_1 = 91.9$	$\hat{\phi}_1 = -2.2$
$\hat{R}_2 = 44.7$	$\hat{\phi}_2 = -1.6$
$\hat{R}_3 = 30.3$	$\hat{\phi}_3 = -1.1$
$\hat{R}_4 = 12.1$	$\hat{\phi}_4 = -0.3$
$\hat{R}_5 = 4.4$	$\hat{\phi}_5 = 0.6$

de lo anterior, se puede reescribir el modelo ajustado a cinco componentes periódicas como:

$$X_t = 247.108 + 91.9 \cos(0.1008631t - 2.2) + 44.7 \cos(0.1624525t - 1.6) \\ + 30.3 \cos(0.3292269t - 1.1) + 12.1 \cos(0.5747558t - 0.3) \\ + 4.4 \cos(1.2633421t + 0.6)$$

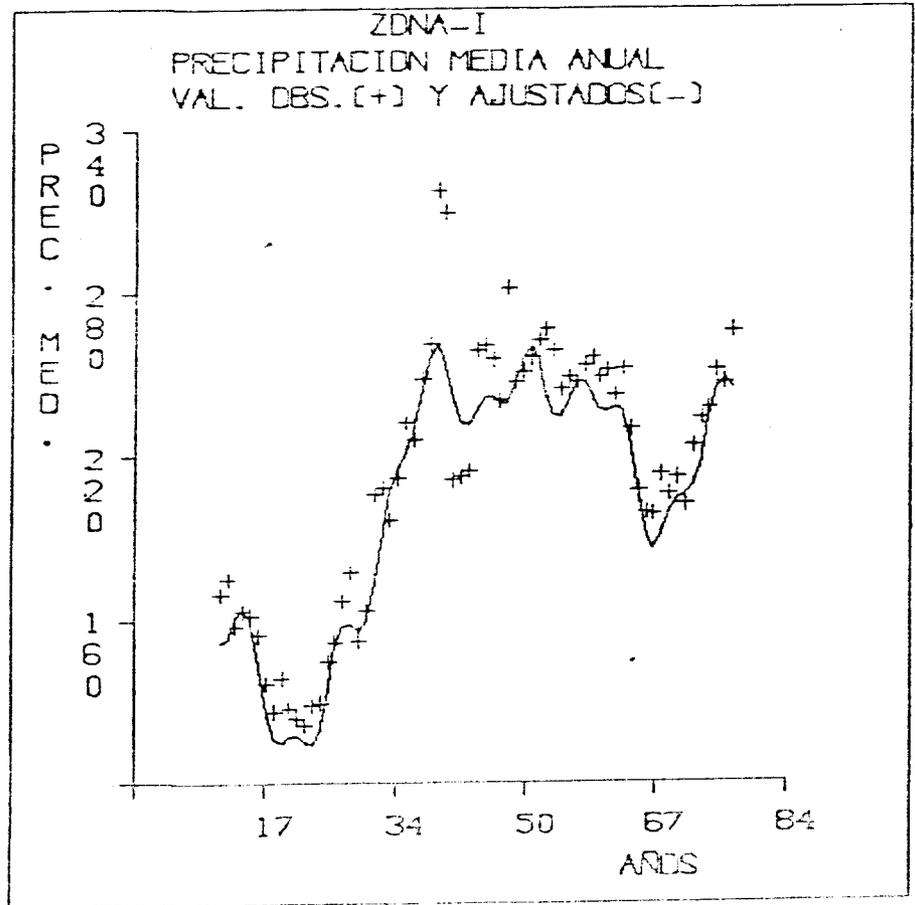
con $t=0,1,\dots,73$ que corresponde a los años de 1899 hasta 1972.

Como resultado de aplicar el modelo de componentes periódicas ajustado en cada zona, una vez que fueron encontradas las frecuencias relevantes de las series de precipitación media anual, se obtienen los valores calculados y se comparan con los valores observados de la misma serie. Esto se muestra para la ZONA I en la tabla 8 y gráfica 7; para la ZONA II en la tabla 9 y gráfica 8; para la ZONA III en la tabla 10 y gráfica 9 respectivamente.

El resultado del pronóstico hecho para cada una de las zonas de estudio para 100 años a partir de 1977 y para 100 años atrás a partir de 1911 a través del modelo de componentes periódicas se muestra para la ZONA I en la tabla 11 y gráfica 10; para la ZONA II en la tabla 12 y gráfica 11; para la ZONA III en la tabla 13 y gráfica 12 respectivamente.

TABLA DE VALORES OBSERVADOS Y CALCULADOS SEGUN EL MODELO DE PERIODICIDAD MULTIPLE.

ZONA I		
AÑOS	VAL. OBSERV.	VAL. CALC.
1911	169.64999	131.90897
1912	173.03000	133.49146
1913	157.89999	160.22110
1914	163.47998	164.73639
1915	161.72998	159.78085
1916	154.47998	143.00943
1917	136.96997	127.68158
1918	126.50000	116.50055
1919	138.56998	114.38358
1920	127.64999	116.90680
1921	124.12000	117.64316
1922	121.50000	114.97881
1923	128.81998	113.58155
1924	129.67999	119.74271
1925	144.87997	133.68518
1926	131.91998	149.09918
1927	167.07999	158.09329
1928	177.66998	158.36032
1929	152.47998	156.27310
1930	163.32999	159.70975
1931	205.89999	172.45932
1932	208.42999	190.33810
1933	196.63998	205.77618
1934	212.03998	215.04245
1935	232.56998	221.24274
1936	226.34998	230.27783
1937	248.84998	243.91211
1938	261.39996	256.97107
1939	318.08997	261.66400
1940	310.18994	255.01199
1941	211.39999	242.20953
1942	212.59000	232.54971
1943	214.59000	231.64343
1944	259.37994	237.20306
1945	261.19995	242.20050
1946	255.93997	242.12527
1947	240.43999	239.23483
1948	282.25000	239.69803
1949	247.31000	246.58753
1950	251.37000	256.33215
1951	256.56000	260.77393
1952	262.79999	255.52414
1953	257.00000	244.02552
1954	259.13995	234.90561
1955	244.82999	234.37750
1956	249.13995	240.94009
1957	247.46997	247.28854
1958	233.92999	247.08770
1959	256.31996	241.89124
1960	249.50000	236.67487
1961	261.69998	236.19086
1962	243.42999	236.36011
1963	252.46997	236.21704
1964	229.93997	224.98956
1965	207.57999	206.95673
1966	199.25999	191.32410
1967	198.50000	185.69827
1968	213.29998	190.43491
1969	206.16996	196.98059
1970	211.98999	204.48511
1971	202.16998	206.09241
1972	223.81000	208.91132
1973	233.92999	217.92436
1974	237.62997	232.04410
1975	251.60999	244.34982
1976	247.10999	248.43157
1977	266.25995	244.82211

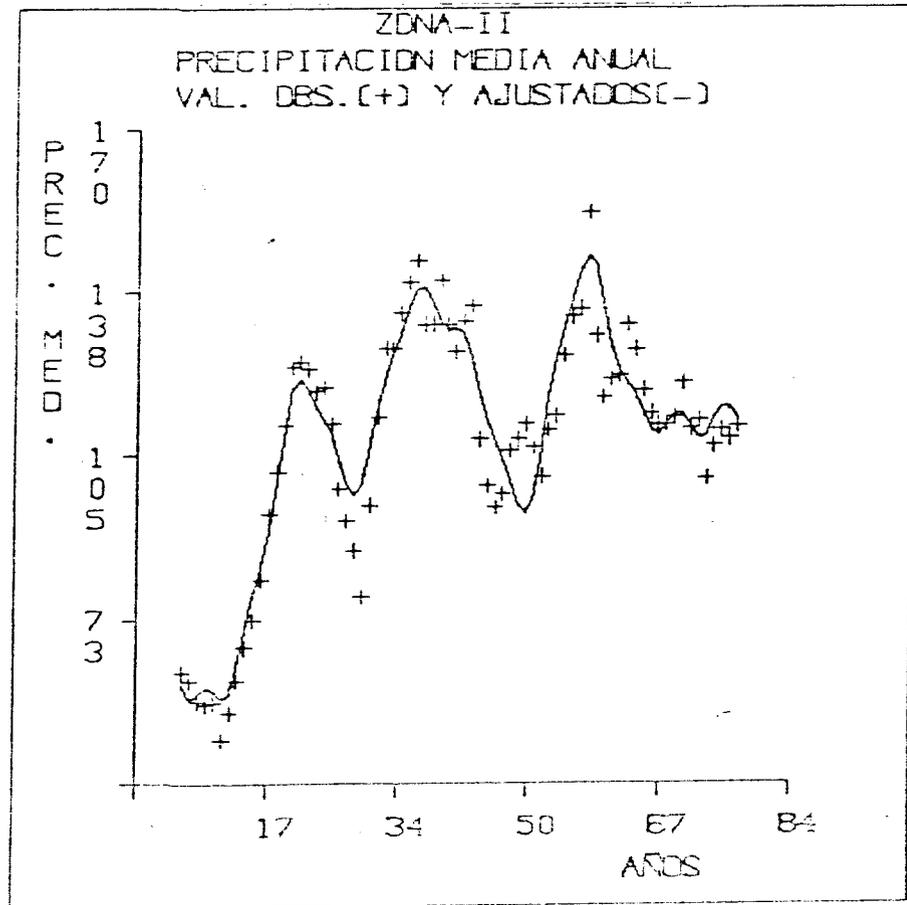


GRAF. 7

TAB. 8

TABLA DE VALORES OBSERVADOS Y CALCULADOS SEGUN EL MODELO DE PERIODICIDAD MULTIPLE.

ZONA I I		
AÑOS	VAL. OBSERV.	VAL. CALC.
1906	62.10000	59.68900
1907	60.28999	56.76138
1908	56.35999	57.57378
1909	55.53999	58.86931
1910	55.92000	58.24306
1911	48.50000	56.73724
1912	54.07999	57.54379
1913	60.21999	62.36203
1914	66.84999	69.62761
1915	72.25999	76.56154
1916	80.39999	82.48447
1917	93.40999	89.38060
1918	101.87999	98.99132
1919	111.29999	109.88518
1920	122.95999	118.07840
1921	124.00999	120.68892
1922	122.45999	118.57047
1923	118.06000	115.02785
1924	118.78999	112.21341
1925	111.42999	109.40030
1926	98.50999	105.00615
1927	92.03000	99.75591
1928	86.20999	97.00562
1929	77.06999	99.60811
1930	95.20000	106.34421
1931	112.96999	114.98906
1932	126.65999	120.94591
1933	126.45999	124.88062
1934	133.48999	129.00293
1935	139.65997	134.13876
1936	144.00000	138.25589
1937	131.34998	138.71381
1938	131.40997	135.54163
1939	139.88998	131.76709
1940	131.23999	130.24918
1941	125.90999	130.59021
1942	132.00000	129.67792
1943	134.87000	125.24042
1944	108.37999	118.34627
1945	99.17000	112.06203
1946	94.78999	107.97968
1947	97.42999	104.76897
1948	106.18999	100.44579
1949	108.35999	95.59296
1950	111.34000	93.57419
1951	106.89000	97.27150
1952	100.89999	105.97484
1953	110.21999	115.95363
1954	113.07999	124.03960
1955	125.17999	130.14481
1956	132.76999	135.98511
1957	134.08998	141.77545
1958	153.70999	145.02433
1959	129.12000	143.01764
1960	116.89999	136.14014
1961	120.51999	128.07321
1962	121.35999	122.45920
1963	131.28000	119.70674
1964	125.35999	117.44833
1965	118.34000	113.93459
1966	113.62999	110.31444
1967	111.28000	109.15813
1968	111.14000	111.07259
1969	112.81000	113.54723
1970	119.70999	113.53728
1971	110.35999	110.86098
1972	112.23000	108.44545
1973	100.53000	109.06453
1974	107.06000	112.26236
1975	110.10999	114.92467
1976	108.39000	114.72162
1977	110.84999	112.35637



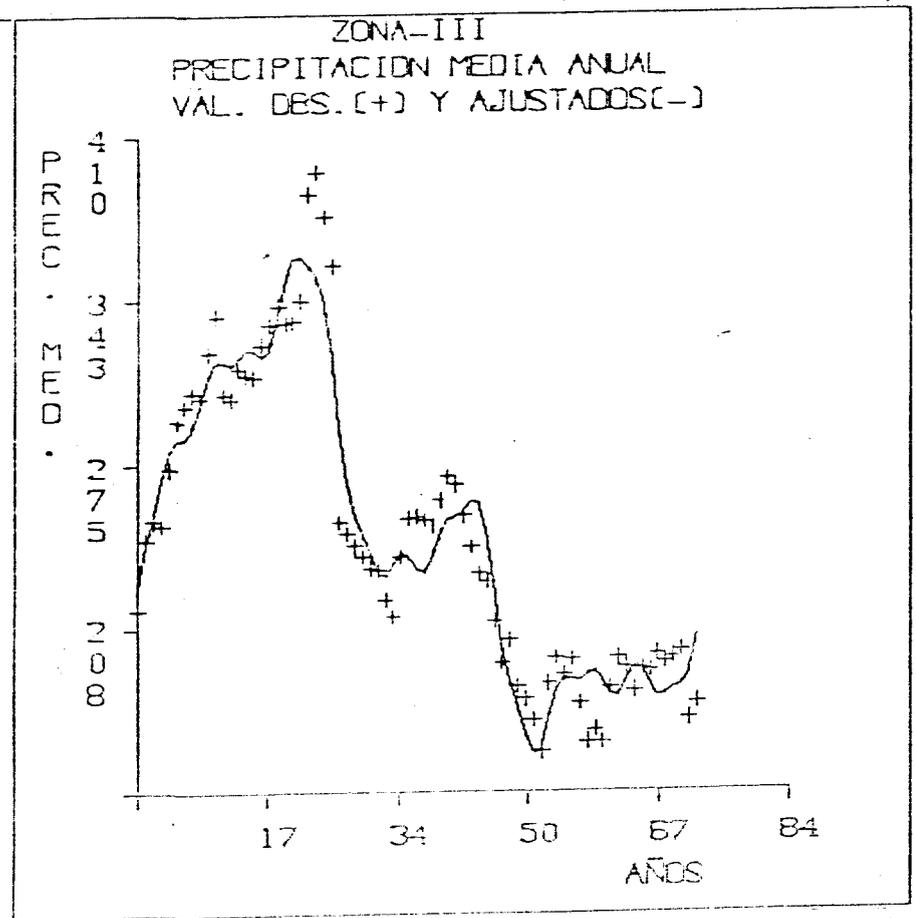
GRAF. 8

TAB. 9

TABLA DE VALORES OBSERVADOS Y CALCULADOS SEGUN EL MODELO DE PERIODICIDAD MULTIPLE.

ZONA III		
AÑOS	VAL. OBSERV.	VAL. CALC.
1899	223.23000	194.70990
1900	214.69998	222.60696
1901	244.23000	240.49271
1902	252.14999	254.02731
1903	250.39999	268.18286
1904	273.59998	290.47565
1905	293.44995	285.90100
1906	299.59998	286.04364
1907	304.90997	288.89984
1908	303.27997	299.03314
1909	321.54999	311.47900
1910	336.77997	317.99341
1911	304.35999	317.37213
1912	302.75000	316.06940
1913	314.78996	318.90896
1914	312.38995	322.57605
1915	311.68994	322.28204
1916	324.84998	319.76257
1917	332.90997	322.89160
1918	340.95996	335.37775
1919	333.59998	351.02295
1920	334.29999	360.40277
1921	343.06995	361.04700
1922	386.72998	357.66235
1923	395.88995	352.95671
1924	377.58997	342.60248
1925	357.13995	321.75964
1926	251.59000	293.99939
1927	246.64999	269.66412
1928	241.69998	255.13736
1929	237.13998	247.10544
1930	232.47998	239.13416
1931	231.56000	231.09409
1932	219.14999	228.44333
1933	212.04999	232.88522
1934	236.93997	238.12213
1935	253.29999	237.26486
1936	253.92999	231.94247
1937	252.20999	230.40675
1938	249.89999	236.90939
1939	260.50000	246.57498
1940	270.50000	252.33936
1941	264.72998	253.91525
1942	254.19998	256.29797
1943	241.16998	260.29340
1944	230.06000	258.76063
1945	225.81998	245.68973
1946	209.81000	223.21170
1947	192.53998	201.37436
1948	202.06995	186.10000
1949	182.89999	175.01689
1950	177.62997	164.07260
1951	168.93999	153.86634
1952	156.12997	156.94809
1953	162.93999	167.96031
1954	194.76994	180.60206
1955	187.81000	186.03822
1956	193.82999	183.49097
1957	175.81998	184.90078
1958	160.09000	187.60162
1959	165.03998	189.25650
1960	159.91998	185.37503
1961	182.28000	179.33542
1962	194.34000	178.71085
1963	190.64999	185.06699
1964	180.92999	191.20517
1965	189.79999	190.04303
1966	189.19998	183.32953
1967	196.25999	178.67596
1968	192.59999	179.50043
1969	194.84998	182.00690
1970	197.86998	180.09734
1971	169.41998	187.52793
1972	176.09998	203.50882

TAB. 10



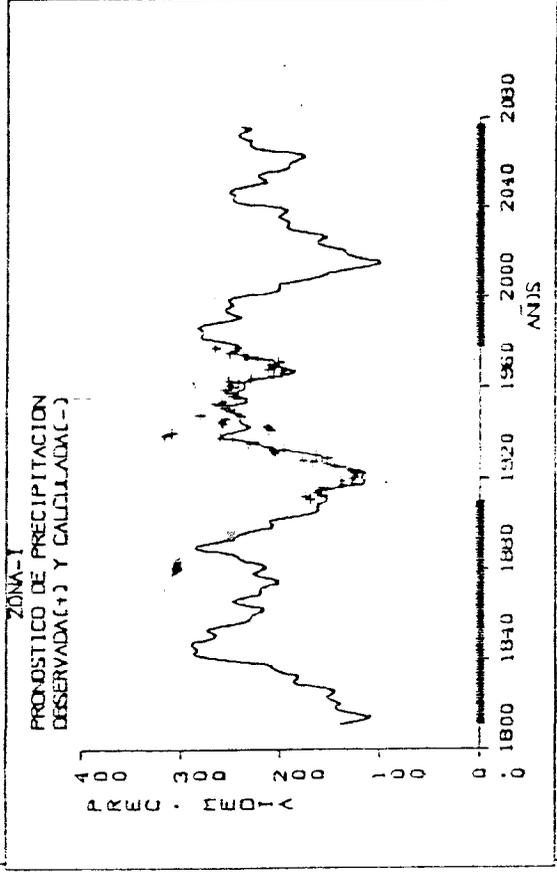
GRAF. 9

PRONOSTICO DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA ZONA I

ANOS	P. MED.	ANOS	P. MED.	ANOS	P. MED.
1811	139.90	1812	124.73	1813	113.75
1814	108.90	1815	115.76	1816	129.49
1817	141.49	1818	145.12	1819	143.38
1820	140.16	1821	142.33	1822	150.01
1823	154.01	1824	151.67	1825	146.29
1826	145.59	1827	154.42	1828	149.81
1829	183.25	1830	184.11	1831	185.38
1832	182.24	1833	182.11	1834	193.89
1835	202.47	1836	207.44	1837	209.56
1838	215.59	1839	231.01	1840	233.70
1841	275.03	1842	256.99	1843	288.27
1844	285.34	1845	285.05	1846	288.44
1847	291.11	1848	287.11	1849	277.13
1850	247.74	1851	245.54	1852	270.57
1853	275.76	1854	273.13	1855	260.99
1856	245.31	1857	234.19	1858	230.41
1859	230.56	1860	220.01	1861	221.62
1862	216.49	1863	219.65	1864	230.11
1865	242.95	1866	240.41	1867	243.50
1868	232.21	1869	222.94	1870	220.02
1871	220.61	1872	218.59	1873	211.55
1874	203.82	1875	203.49	1876	210.20
1877	219.52	1878	229.08	1879	227.08
1880	227.67	1881	214.70	1882	218.06
1883	243.46	1884	236.90	1885	241.41
1889	277.64	1887	249.50	1888	262.11
1892	271.96	1890	287.05	1891	284.43
1895	245.78	1894	257.95	1897	249.24
1898	219.45	1896	241.83	1900	232.40
1901	210.30	1899	209.54	1903	207.15
1904	187.01	1905	211.10	1906	181.97
1907	161.53	1908	163.72	1909	162.25
1910	156.55	1911	151.91	1912	153.49
1913	160.22	1914	164.74	1915	159.78
1916	145.01	1917	127.68	1918	116.50
1919	114.38	1920	116.91	1921	117.44
1922	114.98	1923	113.68	1924	119.74
1925	133.29	1924	149.10	1927	158.09
1928	158.56	1929	156.27	1930	159.71
1931	172.46	1932	190.34	1933	205.78
1934	215.04	1935	221.24	1936	230.28
1937	243.91	1938	256.97	1939	261.64
1940	233.01	1941	242.21	1942	232.55
1943	231.64	1944	237.20	1945	242.20
1946	242.13	1947	239.23	1948	239.70
1949	246.44	1950	256.31	1951	260.77
1952	255.52	1953	244.03	1954	234.91

ANOS	P. MED.	ANOS	P. MED.	ANOS	P. MED.
1955	234.38	1956	240.94	1957	247.29
1958	247.39	1959	241.89	1960	236.47
1961	236.19	1962	238.36	1963	236.22
1964	224.86	1965	206.96	1966	191.32
1967	185.70	1968	190.43	1969	198.98
1970	204.49	1971	206.09	1972	208.91
1973	217.92	1974	232.04	1975	244.33
1976	248.45	1977	244.82	1978	240.84
1979	244.29	1980	256.37	1981	270.81
1982	279.79	1983	280.91	1984	278.64
1985	278.97	1986	282.84	1987	284.89
1988	278.89	1989	264.59	1990	249.07
1991	241.13	1992	243.77	1993	231.90
1994	257.31	1995	256.07	1996	231.40
1997	249.32	1998	231.79	1999	254.09
2000	249.26	2001	235.18	2002	217.41
2003	204.65	2004	201.08	2005	202.73
2006	201.39	2007	192.16	2008	177.51
2009	142.23	2010	156.31	2011	151.03
2012	142.08	2013	126.68	2014	109.46
2015	99.25	2016	101.40	2017	113.07
2018	125.74	2019	132.78	2020	134.49
2021	137.34	2022	145.15	2023	154.10
2024	163.52	2025	162.95	2026	157.16
2027	154.30	2028	160.44	2029	174.76
2030	188.79	2031	195.48	2032	194.44
2033	191.70	2034	192.30	2035	199.31
2036	204.16	2037	202.87	2038	194.97
2039	193.98	2040	200.80	2041	217.15
2042	235.37	2043	246.94	2044	249.43
2046	247.70	2045	248.02	2047	231.61
2048	253.47	2049	247.90	2050	234.99
2051	221.58	2052	224.19	2053	218.34
2054	224.03	2055	224.19	2056	218.75
2057	203.27	2058	194.20	2059	191.71
2060	192.19	2061	189.67	2062	182.74
2063	176.83	2064	179.52	2065	193.18
2067	212.08	2068	226.84	2069	232.37
2070	231.39	2071	231.01	2072	233.40
2073	241.91	2074	244.41	2075	240.21
2076	233.70	2077	232.81		241.59

TAB. 11



GRAF. 10

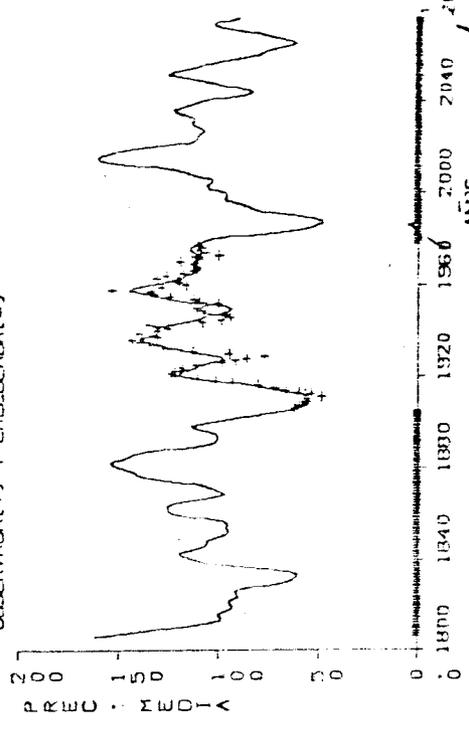
PRONOSTICO DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA ZONA II

AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.
1806	161.63	1807	150.44	1808	139.68
1809	130.96	1810	122.86	1811	113.91
1812	103.23	1813	97.78	1814	98.89
1815	100.38	1816	100.55	1817	97.89
1818	94.39	1819	93.01	1820	94.13
1821	93.38	1822	94.46	1823	92.00
1824	90.60	1825	91.43	1826	92.34
1827	89.97	1828	82.99	1829	74.36
1830	67.64	1831	64.08	1832	62.15
1833	60.49	1834	60.42	1835	64.90
1836	74.95	1837	87.83	1838	79.09
1839	106.47	1840	111.18	1841	119.43
1842	119.33	1843	120.92	1844	117.45
1845	111.80	1846	107.28	1847	109.97
1848	106.33	1849	105.18	1850	101.40
1851	97.12	1852	95.14	1853	95.73
1854	96.63	1855	96.12	1856	93.36
1857	98.16	1858	103.26	1859	114.47
1860	121.74	1861	125.09	1862	125.82
1863	126.06	1864	125.65	1865	122.32
1866	114.85	1867	105.52	1868	98.72
1869	97.08	1870	99.90	1871	102.99
1872	106.28	1873	110.90	1874	118.56
1875	128.23	1876	136.50	1877	140.82
1878	142.23	1879	144.06	1880	148.02
1881	132.48	1882	154.32	1883	152.46
1884	148.84	1885	145.74	1886	142.80
1887	137.34	1888	127.82	1889	116.24
1890	106.81	1891	102.11	1892	101.07
1893	100.95	1894	100.74	1895	101.99
1896	106.11	1897	111.57	1898	114.37
1899	111.69	1900	104.54	1901	96.40
1902	89.61	1903	83.38	1904	75.76
1905	66.91	1906	59.69	1907	56.76
1908	57.57	1909	58.87	1910	58.24
1911	56.74	1912	57.94	1913	62.36
1914	69.63	1915	76.56	1916	82.48
1917	89.38	1918	98.99	1919	107.89
1920	118.08	1921	120.69	1922	118.57
1923	115.03	1924	112.21	1925	109.40
1926	103.01	1927	99.76	1928	97.01
1929	99.61	1930	106.84	1931	114.97
1932	120.95	1933	124.88	1934	129.99
1935	134.14	1936	138.26	1937	138.71
1938	135.54	1939	131.77	1940	130.23
1941	130.59	1942	129.68	1943	125.24
1944	116.35	1945	112.06	1946	107.98
1947	104.77	1948	100.45	1949	95.59
1950	93.57	1951	97.27	1952	105.97

AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.
1953	115.93	1954	124.04	1955	130.14
1956	136.99	1957	141.78	1958	145.02
1959	143.02	1960	136.14	1961	128.07
1962	122.46	1963	119.71	1964	117.45
1965	113.93	1966	110.31	1967	109.16
1968	111.07	1969	113.93	1970	113.94
1971	110.66	1972	108.45	1973	109.04
1974	112.24	1975	114.92	1976	114.72
1977	112.36	1978	110.05	1979	108.20
1980	104.32	1981	95.71	1982	82.84
1983	69.37	1984	59.75	1985	54.10
1986	50.70	1987	48.23	1988	48.11
1989	52.65	1990	61.81	1991	72.17
1992	79.76	1993	83.61	1994	86.10
1995	89.76	1996	94.32	1997	97.33
1998	97.31	1999	96.66	2000	97.81
2001	101.71	2002	103.83	2003	107.09
2004	103.35	2005	103.63	2006	104.88
2007	109.09	2008	113.92	2009	118.04
2010	123.00	2011	131.26	2012	142.76
2013	153.93	2014	160.63	2015	161.76
2016	159.50	2017	156.25	2018	151.89
2019	146.55	2020	133.82	2021	122.45
2022	114.99	2023	112.22	2024	112.02
2025	111.20	2026	109.12	2027	107.93
2028	109.49	2029	112.77	2030	114.83
2031	114.38	2032	113.03	2033	114.18
2034	118.37	2035	122.78	2036	123.97
2037	121.28	2038	117.01	2039	113.32
2040	107.64	2041	103.85	2042	93.46
2043	87.45	2044	83.89	2045	84.18
2046	91.98	2047	97.96	2048	103.13
2049	108.96	2050	116.36	2051	123.34
2052	126.31	2053	123.69	2054	117.69
2055	112.05	2056	108.30	2057	104.74
2058	99.05	2059	91.30	2060	84.79
2061	80.92	2062	78.77	2063	75.40
2064	69.67	2065	63.99	2066	61.99
2067	64.91	2068	70.50	2069	75.84
2070	50.40	2071	65.97	2072	93.47
2073	100.73	2074	103.98	2075	101.58
2076	93.81	2077	90.62		

TAB. 12

ZONA-II
PRONOSTICO DE PRECIPITACION
OBSERVADA(+) Y CALCULADA(-)



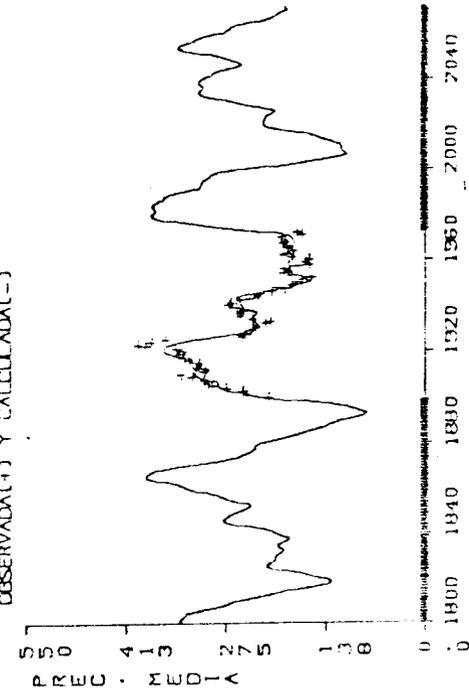
PRONOSTICO DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA ZONA III

AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.
1800	339.62	1801	339.92	1802	335.55
1803	332.04	1804	329.41	1805	321.55
1806	305.37	1807	286.51	1808	273.18
1809	245.91	1810	257.23	1811	241.61
1812	222.07	1813	204.97	1814	190.68
1815	173.82	1816	152.64	1817	134.34
1818	128.08	1819	134.75	1820	146.90
1821	158.60	1822	171.44	1823	186.84
1824	207.42	1825	218.35	1826	217.52
1827	210.78	1828	206.78	1829	206.94
1830	205.76	1831	200.56	1832	195.44
1833	196.60	1834	201.72	1835	202.91
1836	196.52	1837	188.99	1838	188.45
1839	195.57	1840	204.51	1841	212.35
1842	223.34	1843	241.66	1844	262.96
1845	277.16	1846	279.30	1847	274.25
1848	269.32	1849	265.19	1850	257.59
1851	246.63	1852	239.98	1853	244.57
1854	257.97	1855	271.33	1856	280.15
1857	288.49	1858	301.46	1859	316.99
1860	328.52	1861	334.67	1862	342.02
1863	356.25	1864	373.82	1865	385.38
1866	386.40	1867	380.85	1868	373.51
1869	362.27	1870	341.76	1871	313.04
1872	285.58	1873	267.84	1874	258.75
1875	251.18	1876	242.20	1877	235.83
1878	235.06	1879	234.94	1880	227.22
1881	210.70	1882	192.96	1883	180.97
1884	173.06	1885	162.79	1886	148.85
1887	136.82	1888	130.60	1889	125.81
1890	115.10	1891	98.45	1892	84.45
1893	80.70	1894	86.13	1895	95.24
1896	107.53	1897	128.34	1898	159.81
1899	194.71	1900	222.61	1901	240.49
1902	254.03	1903	268.18	1904	280.48
1905	285.90	1906	286.04	1907	288.90
1908	299.03	1909	311.48	1910	317.99
1911	317.37	1912	316.07	1913	318.81
1914	322.58	1915	322.28	1916	319.76
1917	322.89	1918	335.38	1919	331.02
1920	360.40	1921	361.05	1922	357.65
1923	352.96	1924	342.60	1925	331.76
1926	294.00	1927	269.66	1928	258.14
1929	247.11	1930	239.13	1931	231.09
1932	228.44	1933	232.89	1934	238.12
1935	237.26	1936	231.94	1937	230.41
1938	236.91	1939	246.57	1940	252.34
1941	253.92	1942	256.30	1943	260.29
1944	258.96	1945	245.69	1946	223.24

AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.	AÑO	P. MED.
1947	201.37	1948	186.12	1949	175.02
1950	164.07	1951	155.87	1952	156.95
1953	167.96	1954	180.60	1955	186.33
1956	185.49	1957	184.90	1958	187.64
1959	187.26	1960	185.38	1961	179.34
1962	178.71	1963	185.07	1964	191.21
1965	190.04	1966	183.33	1967	178.68
1968	174.50	1969	182.01	1970	183.10
1971	187.53	1972	203.51	1973	232.17
1974	265.14	1975	293.72	1976	317.50
1977	340.18	1978	362.07	1979	376.50
1980	378.57	1981	373.89	1982	371.62
1983	374.69	1984	377.52	1985	374.01
1986	367.01	1987	362.52	1988	360.18
1989	354.06	1990	339.92	1991	322.99
1992	312.32	1993	310.13	1994	310.14
1995	306.52	1996	300.91	1997	297.71
1998	294.94	1999	284.16	2000	260.41
2001	228.74	2002	197.45	2003	175.57
2004	153.63	2005	131.35	2006	113.80
2007	107.54	2008	111.28	2009	116.25
2010	116.56	2011	115.63	2012	120.53
2013	131.90	2014	143.81	2015	152.77
2016	163.09	2017	180.39	2018	202.27
2019	219.25	2020	225.30	2021	224.03
2022	222.35	2023	222.08	2024	218.27
2025	210.47	2026	206.06	2027	213.07
2028	230.54	2029	249.70	2030	264.44
2031	277.01	2032	291.72	2033	306.39
2034	310.86	2035	311.84	2036	307.06
2037	307.59	2038	312.32	2039	314.46
2040	309.74	2041	302.23	2042	297.33
2043	293.41	2044	284.17	2045	268.73
2046	253.18	2047	252.30	2048	260.02
2049	271.33	2050	282.21	2051	295.67
2052	314.52	2053	333.66	2054	343.48
2055	340.60	2056	371.37	2057	323.53
2058	317.18	2059	307.07	2060	292.59
2061	278.90	2062	272.22	2063	248.47
2064	259.90	2065	243.45	2066	235.89
2067	214.20	2068	207.96	2069	201.29
2070	193.52	2071	189.91	2072	195.03

TAB. 13

ZONA III
PRESTILLO DE PRECIPITACION
OBSERVADA (+) Y CALCULADA (-)



De manera general se tiene la suficiente confianza en el modelo de componentes periódicas de periodicidad múltiple que fue aplicada a cada zona, ya que éste describe de manera satisfactoria la variabilidad de la precipitación media anual (ver gráficas 7, 8 y 9).

Se llevó a cabo una ponderación para evaluar el porcentaje de la variación explicada atribuible a cada una de las componentes periódicas.

Número de componentes en la zona respectiva	ZONA I	ZONA II	ZONA III
1	49.55%	48.27%	70.03%
2	42.12%	24.83%	19.46%
3	4.88%	23.89%	8.94%
4	2.15%	2.53%	1.41%
5	1.30%	0.48%	0.19%
	100.00%	100.00%	100.00%

Las componentes periódicas de la tabla anterior están ordenadas de mayor a menor periodicidad.

Como resultado de aplicar el modelo de correlación cruzada desplazada entre las series de precipitación media anual de las diferentes zonas, se obtienen los coeficientes de correlación para desplazamientos anuales entre las series dadas. Esto se muestra para las series de las ZONAS I y II en la tabla 14; para las series de las ZONAS I y III en la tabla 15 y para las series de las ZONAS II y III en la tabla 16.

Las cronologías maestras de precipitación anual construidas para cada zona; así como sus gráficas correspondientes se muestran para la

TABLA DE CORRELACIONES CRUZADAS ENTRE SERIES DE
PRECIPITACION MEDIA DE ZONAS NO HOMOGENEAS ENTRE S I

SERIE 1: ZONA I

SERIE 2: ZONA II

EL NUMERO DE AÑOS CORRELACIONADOS ES 67

EL COEFICIENTE DE CORRELACION PARA LAS SERIES PAREJAS ES 0.4009

LA SERIE 1 ADELANTA L AÑOS A LA SERIE 2:

L	CORRELACION	L	CORRELACION
1	0.4176	2	0.4328
3	0.4672	4	0.4950
5	0.5277	6	0.5102
7	0.4899	8	0.4627
9	0.4482	10	0.4366
11	0.4529	12	0.5156
13	0.5587	14	0.5994
15	0.6049	16	0.5978
17	0.5963	18	0.5903
19	0.5266	20	0.4239
21	0.2909	22	0.1436
23	-0.0399	24	-0.1656
25	-0.2394	26	-0.3275
27	-0.3703	28	-0.4108
29	-0.3427	30	-0.2409
31	-0.3689	32	-0.4788
33	-0.5764	34	-0.4962
35	-0.4193	36	-0.3077
37	-0.2536	38	-0.0828
39	-0.0798	40	-0.0823
41	-0.0644	52	-0.1328
43	-0.2191	44	-0.3728
45	-0.5661	46	-0.7458
47	-0.8276	48	-0.7694
49	-0.5540	50	-0.3012
51	0.0086	52	0.3072
53	0.6766	54	0.8615

LA SERIE 1 ATRASADA L AÑOS DE LA SERIE 2:

L	CORRELACION	L	CORRELACION
1	0.3616	2	0.3361
3	0.3706	4	0.3488
5	0.2761	6	0.1749
7	0.1130	8	0.0847
9	0.0471	10	0.0341
11	-0.0025	12	-0.0636
13	3.1513	14	-0.1816
15	-0.1758	16	-0.1490
17	-0.1543	19	-0.0795
19	-0.0939	20	-0.1619
21	-0.1656	22	-0.1137
23	-0.0326	24	0.0388
25	0.0270	26	0.0473
27	0.0275	28	-0.0257
29	-0.0337	30	-0.0026
31	-0.0337	32	-0.1246
33	-0.2506	34	-0.3727
35	-0.4077	36	-0.4743
37	-0.5153	38	-0.5406
39	-0.5795	40	-0.6160
41	-0.5820	42	-0.4489
43	-0.2737	44	-0.1089
45	-0.0646	46	0.0761
47	0.2743	48	0.2668
49	0.4018	50	0.5634
51	0.7386	52	0.6838
53	0.6345	54	0.5366

TAB. 14

TABLA DE CORRELACIONES CRUZADAS ENTRE SERIES DE
PRECIPITACION MEDIA DE ZONAS NO HOMOGENEAS ENTRE S I.

SERIE 1: ZONA I

SERIE: ZONA III

EL NUMERO DE AÑOS CORRELACIONADOS ES: 62

EL COEFICIENTE DE CORRELACION PARA LAS SERIES PAREJAS ES: -0.7366

LA SERIE 1 ADELANTA L AÑOS A LA SERIE 2:

L	CORRELACION	L	CORRELACION
1	-0.7519	2	-0.7422
3	-0.7092	4	-0.6971
5	-0.6853	6	-0.6627
7	-0.6207	8	-0.5605
9	-0.5015	10	-0.4496
11	-0.4039	12	-0.3328
13	-0.2406	14	-0.0999
15	0.0447	16	0.1014
17	0.1278	18	0.0913
19	0.1154	20	0.1894
21	0.2574	22	0.2884
23	0.3248	24	0.2906
25	0.2614	26	0.2037
27	0.2855	28	0.3142
29	0.3630	30	0.4006
31	0.4574	32	0.5165
33	0.5927	34	0.6661
35	0.7175	36	0.7503
37	0.7489	38	0.8176
39	0.7342	40	0.8150
41	0.4139	42	0.1530
43	-0.0187	44	-0.1905
45	-0.2984	46	-0.5331
47	-0.7167	48	-0.6600
49	-0.5514	50	-0.3887
51	-0.4957	52	-0.3342
53	-0.0735	54	0.5992

LA SERIE 1 ATRASADA L AÑOS DE LA SERIE 2:

L	CORRELACION	L	CORRELACION
1	-0.7252	2	-0.7088
3	-0.6908	4	-0.6785
5	-0.6628	6	-0.6301
7	-0.6481	8	-0.6197
9	-0.5995	10	-0.6040
11	-0.6159	12	-0.6614
13	-0.6948	14	-0.7352
15	-0.8055	16	-0.7860
17	-0.7742	18	-0.8035
19	-0.8019	20	-0.7863
21	-0.7194	22	-0.6123
23	-0.5487	24	-0.4917
25	-0.4149	26	-0.3412
27	-0.2591	28	-0.1465
29	-0.0526	30	0.0334
31	0.0324	32	-0.0082
33	0.0654	34	0.2075
35	0.2841	36	0.2615
37	0.2242	38	0.2199
39	0.1361	40	-0.0129
41	0.0238	42	0.2134
43	-0.1565	44	-0.4610
45	-0.6223	46	-0.7400
47	-0.5958	48	-0.4913
49	-0.2646	50	0.1600
51	0.3709	52	0.1422
53	0.4658	54	0.7260

TAB. 15

TABLA DE CORRELACIONES CRUZADAS ENTRE SERIES DE
PRECIPITACION MEDIA DE ZONAS NO HOMOGENEAS ENTRE SI

SERIE 1: ZONA II

SERIE 2: ZONA III

EL NUMERO DE AÑOS CORRELACIONADOS ES: 67

EL COEFICIENTE DE CORRELACION PARA LAS SERIES PAREJAS ES: -0.3859

LA SERIE 1 ADELANTA L AÑOS A LA SERIE 2:

L	CORRELACION	L	CORRELACION
1	-0.3898	2	-0.4074
3	-0.4499	4	-0.3042
5	-0.5364	6	-0.3464
7	-0.4915	8	-0.4162
9	-0.3432	10	-0.2514
11	-0.1472	12	-0.5473
13	0.0525	14	0.1436
15	0.1897	16	0.2171
17	0.2458	18	0.2696
19	0.2283	20	0.1692
21	0.1014	22	0.0214
23	-0.0452	24	-0.1021
25	-0.1421	26	-0.1907
27	-0.2817	28	-0.3424
29	-0.3649	30	-0.3410
31	-0.2598	32	-0.1023
37	0.1429	34	0.1235
35	0.2205	36	0.1970
37	0.1557	38	0.2529
39	0.3542	40	0.4178
41	0.3811	42	0.2252
43	0.0649	44	-0.0410
45	-0.0104	46	-0.1292
47	-0.3557	48	-0.3213
49	-0.4829	30	-0.6228
51	-0.6636	52	-0.5474
53	-0.1875	34	0.0645

LA SERIE 1 ATRASADA L AÑOS DE LA SERIE 2:

L	CORRELACION	L	CORRELACION
1	-0.3964	2	-0.4137
3	-0.4241	4	-0.4557
5	-0.4552	6	-0.5309
7	-0.6571	8	-0.7216
9	-0.7686	10	-0.7966
11	-0.8046	12	-0.7982
13	-0.7821	14	-0.7407
15	-0.6975	16	-0.6487
17	-0.5850	18	-0.5222
19	-0.4713	20	-0.4375
21	-0.4537	22	-0.4777
23	-0.5235	24	-0.5905
25	-0.6556	26	-0.7095
27	-0.7611	28	-0.8011
29	-0.7969	30	-0.7499
31	-0.7096	32	-0.6890
33	-0.6455	34	-0.5890
35	-0.5425	36	-0.4925
37	-0.4539	38	-0.7906
39	-0.3157	40	-0.1872
41	0.0123	42	0.1933
43	0.3535	44	0.4314
45	0.4665	46	0.4520
47	0.4059	48	0.3906
49	0.3833	50	0.2741
51	0.1727	52	0.06%
53	-0.0884	54	-0.3084

TAB.16

ZONA I en la tabla 17 y gráfica 13; para la ZONA II en la tabla 18 y gráfica 14 y para la ZONA III en la tabla 19 y gráfica 15.

Como resultado del análisis de autocorrelación desplazada hecho a cada una de las cronologías maestras de precipitación anual, se obtienen los coeficientes de correlación para corrimientos anuales de la serie sobre sí misma, así como el correlograma de este patrón de variación y se muestran para la ZONA I en la tabla 20 y gráfica 16; para la ZONA II en la tabla 21 y gráfica 17 y para la ZONA III en la tabla 22 y gráfica 18.

Con la idea de la reconstrucción hacia el pasado del índice de precipitación, se sometieron a un análisis de correlación cruzada desplazada las cronologías maestras de precipitación por zonas con las nueve dendrocronologías maestras disponibles para este estudio (ver apéndice V), encontrándose que las únicas correlaciones significativas estadísticamente para series apareadas en los mismos años fueron:

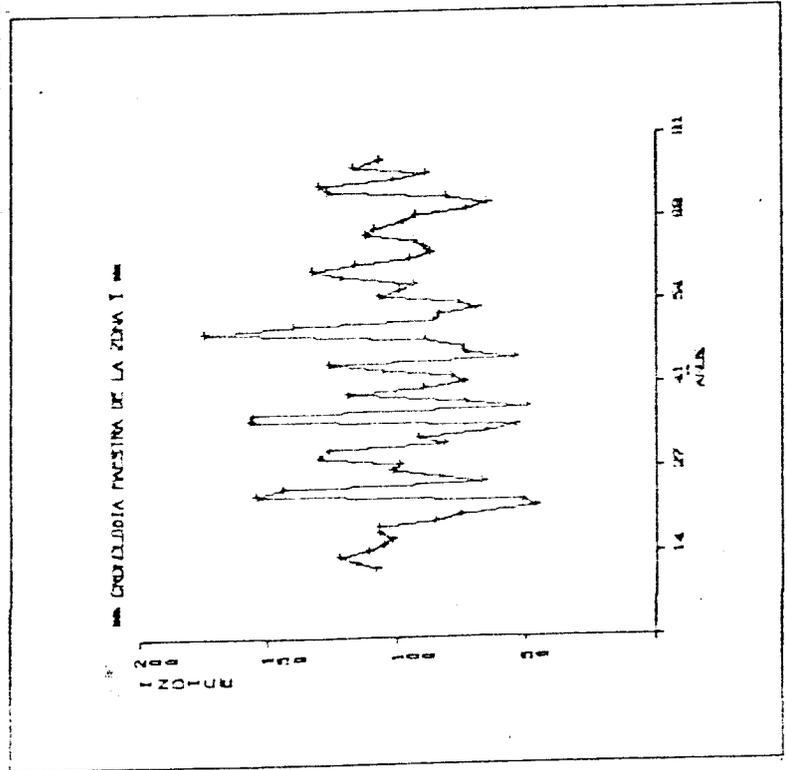
DENDROCRONOLOGIA	CRONOLOGIA	CORRELACION	SIGNIFICANCIA
San Pedro Mártir	ZONA III	0.2959	5%
Tasajera (1)	ZONA III	0.4046	1%
Tasajera (2)	ZONA III	0.4975	1%
Vallecito	ZONA III	0.4060	1%
Pond	ZONA III	0.3580	1%
White Mountains	ZONA I	-0.3417	5%
White Mountains	ZONA III	0.3577	1%

Debido a que las dendrocronologías maestras de New Sherwin Summit,

CRONOLOGIA MAESTRA DE LA ZONA I

AÑO	INDICE	AÑO	INDICE
1911	108.00	1912	116.00
1914	111.00	1915	105.00
1917	107.00	1918	107.00
1920	75.00	1921	47.00
1923	155.00	1924	134.00
1926	84.00	1927	102.00
1929	130.00	1930	125.00
1932	92.00	1933	45.00
1935	137.00	1936	114.00
1938	74.00	1939	79.00
1941	126.00	1942	55.00
1944	75.00	1945	85.00
1947	140.00	1951	77.00
1950	69.00	1954	94.00
1953	94.00	1957	133.00
1956	112.00	1960	87.00
1959	93.00	1963	112.00
1962	81.00	1966	73.00
1968	102.00	1969	127.00
1971	107.00	1972	89.00
1974	107.00	1975	117.00

TAB. 17

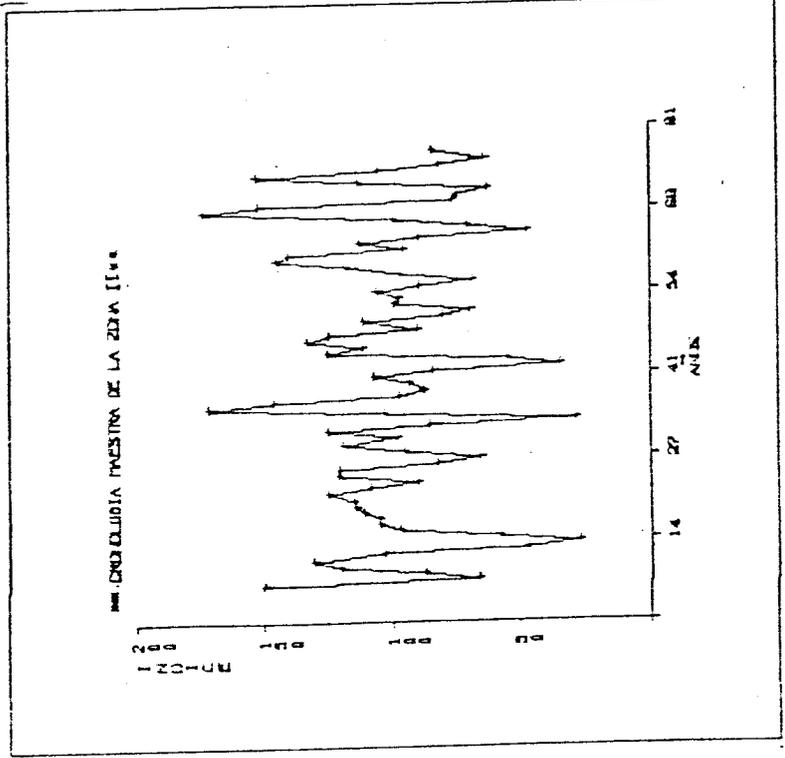


GRAF. 13

CRONOLOGIA MAESTRA DE LA ZONA II

AÑO	INDICE	AÑO	INDICE
1906	150.00	1907	66.00
1909	120.00	1910	131.00
1912	47.00	1913	27.00
1915	97.00	1916	105.00
1918	111.00	1919	114.00
1921	125.00	1922	108.00
1924	121.00	1925	120.00
1927	65.00	1928	95.00
1930	98.00	1931	125.00
1933	28.00	1934	103.00
1936	146.00	1937	97.00
1939	93.00	1940	107.00
1942	34.00	1943	55.00
1945	111.00	1946	133.00
1948	90.00	1949	111.00
1951	69.00	1952	99.00
1954	105.00	1955	89.00
1957	97.00	1958	118.00
1960	140.00	1961	95.00
1963	89.00	1964	47.00
1966	99.00	1967	174.00
1969	74.00	1970	74.00
1972	113.00	1973	153.00
1975	81.00	1976	63.00
1977	84.00	1977	84.00

TAB. 18

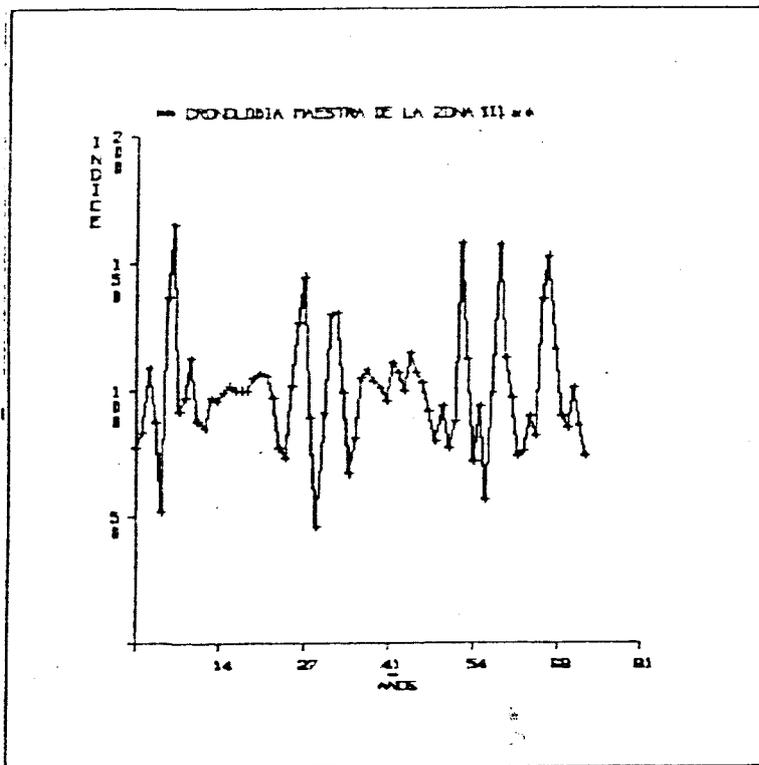


GRAF. 14

CRONOLOGIA MAESTRA DE LA ZONA III

AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE
1899	67.00	1900	77.00	1901	83.00
1902	109.00	1903	67.00	1904	52.00
1905	137.00	1906	165.00	1907	92.00
1908	97.00	1909	113.00	1910	88.00
1911	85.00	1912	97.00	1913	96.00
1914	99.00	1915	102.00	1916	100.00
1917	100.00	1918	100.00	1919	105.00
1920	107.00	1921	106.00	1922	97.00
1923	77.00	1924	73.00	1925	102.00
1926	127.00	1927	145.00	1928	89.00
1929	46.00	1930	91.00	1931	130.00
1932	131.00	1933	99.00	1934	67.00
1935	81.00	1936	105.00	1937	108.00
1938	104.00	1939	101.00	1940	96.00
1941	111.00	1942	107.00	1943	100.00
1944	115.00	1945	107.00	1946	103.00
1947	92.00	1948	80.00	1949	94.00
1950	77.00	1951	88.00	1952	158.00
1953	112.00	1954	72.00	1955	94.00
1956	57.00	1957	99.00	1958	137.00
1959	113.00	1960	97.00	1961	74.00
1962	76.00	1963	90.00	1964	82.00
1965	136.00	1966	153.00	1967	116.00
1968	90.00	1969	85.00	1970	101.00
1971	86.00	1972	74.00		

TAB. 19



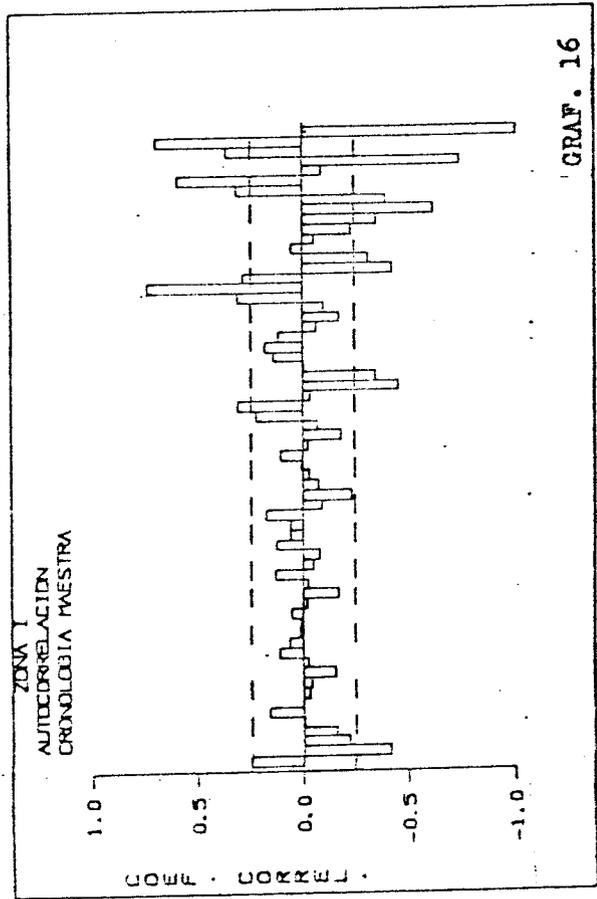
GRAF. 15

TABLA DE AUTOCORRELACIONES PARA LA SERIE DE LA CRONOLOGIA MAESTRA EN PRECIPITACION CON DESPLAZAMIENTOS EN EL TIEMPO.

ZONA I

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.2500	2	-0.4059
3	-0.2152	4	-0.1557
5	-0.0039	6	0.1570
7	-0.0032	8	-0.0326
9	-0.0377	10	-0.1492
11	-0.0258	12	0.1119
13	0.0594	14	0.0123
15	0.0070	16	0.0519
17	-0.0195	18	-0.1660
19	-0.0237	20	0.1276
21	-0.0216	22	-0.0765
23	0.1266	24	0.0548
25	0.0379	26	0.1706
27	-0.0905	28	-0.2264
29	-0.0742	30	-0.0316
31	0.0083	32	0.1055
33	-0.0234	34	-0.1801
35	-0.0707	36	0.2209
37	0.3052	38	-0.0356
39	-0.0048	40	-0.3390
41	0.1754	42	0.1294
43	-0.0630	44	0.1146
45	-0.0972	46	-0.1717
47	0.7378	48	0.3100
49	-0.4190	50	0.2824
51	0.0495	52	-0.3069
53	-0.2296	54	-0.0549
55	-0.6107	56	-0.3465
57	0.3112	58	-0.3875
59	-0.0866	60	0.5939
61	0.3607	62	-0.7344
63	-1.0000	64	0.6957
65		65	

TAB. 20



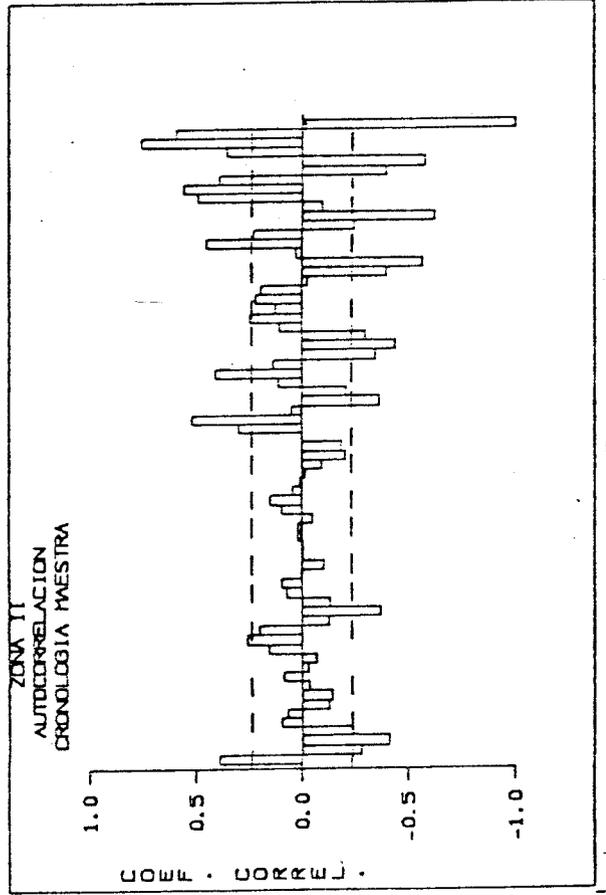
GRAF. 16

TABLA DE AUTOCORRELACIONES PARA LA SERIE DE LA CRONOLOGIA MAESTRA EN PRECIPITACION CON DESPLAZAMIENTOS EN EL TIEMPO.

ZONA II

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.3907	2	-0.2778
3	-0.4072	4	-0.2383
5	0.0928	6	0.0637
7	-0.1279	8	-0.1421
9	-0.0363	10	0.0877
11	-0.0283	12	-0.0669
13	0.1549	14	0.2537
15	0.1958	16	-0.1259
17	-0.3671	18	-0.1319
19	0.0715	20	0.0949
21	0.0020	22	-0.1014
23	-0.0071	24	-0.0067
25	0.0170	26	0.0170
27	-0.0499	28	0.0943
29	0.1501	30	0.0426
31	0.0102	32	-0.0153
33	-0.0938	34	-0.2034
35	-0.1845	36	-0.0005
37	0.2963	38	-0.3185
39	0.0471	40	-0.3644
41	-0.2106	42	0.1087
43	0.4097	44	0.1351
45	-0.3429	46	-0.4377
47	0.2937	48	0.1035
49	0.2472	50	0.1253
51	0.2138	52	0.1917
53	-0.0278	54	-0.3943
55	-0.3558	56	0.0284
57	0.4544	58	0.2274
59	-0.2437	60	-0.6209
61	-0.0937	62	0.4924
63	0.5565	64	0.3877
65	-0.3915	66	-0.5775
67	0.3501	68	-0.7562
69	0.5921	70	-1.0000

TAB. 21



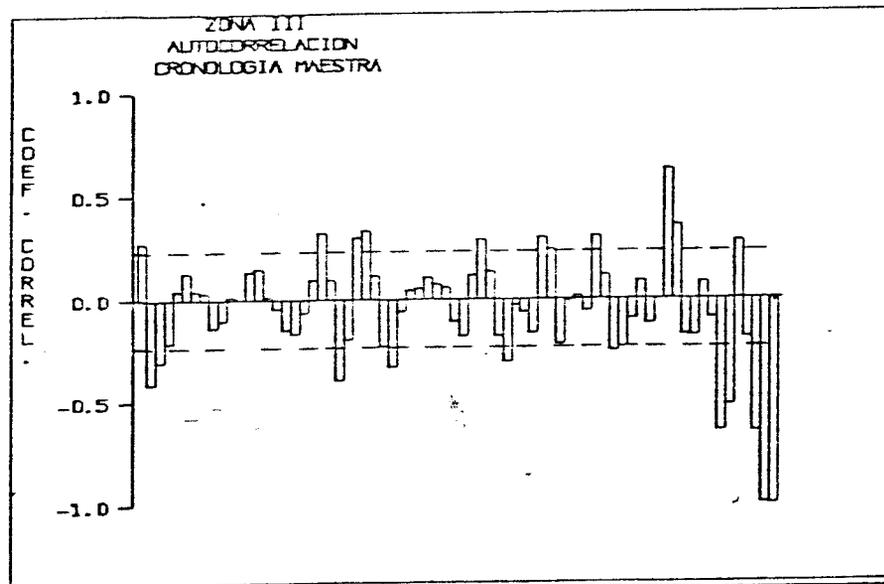
GRAF. 17

TABLA DE AUTOCORRELACIONES PARA LA SERIE DE LA CRONOLOGIA MAESTRA EN PRECIPITACION CON DESPLAZAMIENTOS EN EL TIEMPO.

ZONA III

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.2731	2	-0.4052
3	-0.3024	4	-0.2082
5	0.4437	6	0.1301
7	0.0425	8	0.0548
9	-0.1344	10	-0.1037
11	0.0109	12	-0.0032
13	0.1318	14	0.1470
15	0.0135	16	-0.0435
17	-0.1468	18	-0.1675
19	-0.0624	20	0.0429
21	0.3238	22	0.0555
23	-0.3934	24	-0.1526
25	0.2963	26	0.3310
27	0.1193	28	-0.2279
29	-0.3302	30	-0.0588
31	0.0402	32	0.0525
33	0.1047	34	0.0729
35	0.0556	36	-0.1081
37	-0.1798	38	0.1159
39	0.2886	40	0.1330
41	-0.1810	42	-0.3039
43	-0.0317	44	-0.0646
45	-0.1667	46	0.2989
47	0.2296	48	-0.2205
49	-0.0110	50	0.0112
51	-0.0588	52	0.3026
53	0.1152	54	-0.2512
55	-0.2329	56	-0.0960
57	0.0855	58	-0.1222
59	-0.0074	60	0.6284
61	0.3553	62	-0.1755
63	-0.1800	64	0.0809
65	-0.0952	66	-0.6447
67	-0.5177	68	0.2809
69	-0.1906	70	-0.6505
71	-0.9969	72	-1.0000

TAB. 22



GRAF. 18

Log Cabin Mine, Baldwin Lake y White Mountains situadas al sur de California en los Estados Unidos, en su mayoría no se correlacionaron significativamente con las zonas de estudio; lo cual se puede ver en el apéndice V, se optó por trabajar las dendrocronologías de Tasajera, Vallecito y San Pedro Mártir (parte baja) ubicadas en el Estado de Baja California, México, ya que éstas en su mayoría al menos presentaron correlaciones significativas con la ZONA III. No se consideró la dendrocronología maestra de Pond, Baja California, debido a su corto período de información.

Al aplicar el modelo de correlación cruzada entre las dendrocronologías maestras consideradas se obtuvieron las correlaciones siguientes:

COEFICIENTE DE CORRELACION	DENDROCRONOLOGIAS COMPARADAS
0.7250	TASAJERA (1) y TASAJERA (2)
0.8210	TASAJERA (2) y VALLECITO
0.6131	TASAJERA (2) y S. P. MARTIR
0.8057	TASAJERA (1) y VALLECITO
0.6489	TASAJERA (1) y S. P. MARTIR
0.7379	VALLECITO y S. P. MARTIR

las cuales fueron altamente significativas ($\alpha = 0.01$).

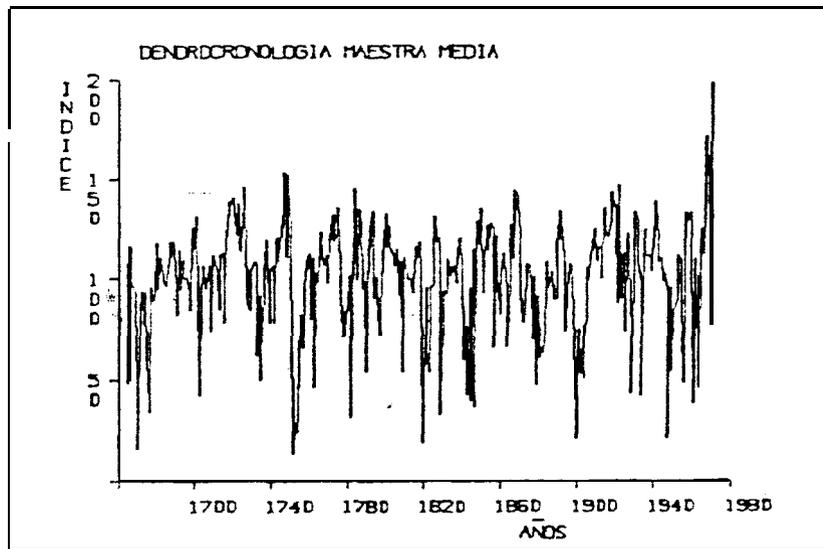
La dendrocronología maestra media que resultó de promediar los índices anuales de precipitación de las cuatro dendrocronologías maestras consideradas anteriormente se muestra en la tabla 23 y gráfica 19.

Con la aplicación del modelo de autocorrelación desplazada a la

DENDROCRONOLOGIA MAESTRA MEDIA

AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE
1664	106	1665	48	1852	10	1853	127
1666	116	1667	YB	1854	114	1855	126
1668	94	1669	59	1856	126	1857	bb
1670	16	1671	89	1858	122	1859	9E
1672	94	1673	77	1860	82	1861	103
1674	94	1675	55	1862	113	1863	9E
1676	34	1677	96	1864	66	1865	92
1678	89	1679	90	1866	127	1867	110
1680	118	1681	95	1868	144	1869	142
1682	111	1683	104	1870	126	1871	90
1684	W	1685	96	1872	78	1873	82
1686	103	1687	111	1874	108	1875	107
1688	118	1689	119	1876	101	1877	70
1690	101	1691	82	1878	101	1879	47
1692	115	1693	95	1880	92	1881	60
1694	110	1695	100	1882	66	1883	b3
1696	101	1697	95	1884	109	1885	96
1698	85	1699	126	1886	101	1887	104
1700	115	1701	132	1888	90	1889	91
1702	108	1703	42	1890	120	1891	134
1704	98	1705	107	1892	126	1893	114
1706	95	1707	99	1894	74	1895	PB
1708	107	1709	74	1896	103	1897	107
1710	112	1711	107	1898	75	1899	60
1712	105	1713	85	1900	21	1901	75
1714	112	1715	113	1902	53	1903	77
1716	78	1717	125	1904	51	1905	106
1718	139	1719	138	1906	100	1907	113
1720	141	1721	132	1908	114	1909	125
1722	122	1723	138	1910	109	1911	115
1724	114	1725	134	1912	116	1913	100
1726	146	1727	106	1914	135	1915	123
1728	88	1729	84	1916	121	1917	128
1730	105	1731	108	1918	143	1919	136
1732	109	1733	62	1920	137	1921	88
1734	92	1735	50	1922	147	1923	90
1736	87	1737	107	1924	113	1925	74
1738	120	1739	78	1926	123	1927	118
1740	105	1741	107	1928	81	1929	43
1742	78	1743	121	1930	133	1931	130
1744	109	1745	121	1932	107	1933	100
1746	132	1747	154	1934	42	1935	125
1748	111	1749	153	1936	112	1937	112
1750	131	1751	90	1938	111	1939	104
1752	33	1753	29	1940	126	1941	139
1754	24	1755	70	1942	124	1943	109
1756	82	1757	65	1944	111	1945	99
1758	99	1759	110	1946	103	1947	96
5760	113	1761	80	1948	21	1949	96
1762	111	1763	46	1950	54	1951	86
1764	104	1765	98	1952	90	1953	112
1766	124	1767	109	1954	110	1955	78
1768	107	1769	112	1956	48	1957	133
1770	98	1771	123	1958	129	1959	133
1772	132	1773	119	1960	93	1961	38
1774	122	1775	136	1962	110	1963	73
1776	113	1777	87	1964	46	1965	125
1778	71	1779	84	1966	112	1967	171
1780	85	1781	102	1968	151	1969	137
1782	31	1783	109	1970	198	1971	77
1784	143	1785	W				
1786	135	1787	129				
1788	95	1789	W				
1790	54	1791	104				
1792	127	1793	134				
1794	91	1795	101				
1796	88	1797	72				
1798	92	1799	115				
1800	133	1801	116				
1802	127	1803	115				
1804	112	1804	107				
1806	115	1807	92				
1808	109	1809	54				
1810	111	1811	105				
1812	100	1813	100				
1814	93	1815	103				
1816	116	1817	111				
1818	119	1819	76				
1820	19	1821	96				
1822	62	1823	54				
1824	96	1825	97				
1826	131	1827	118				
1828	121	1829	33				
1830	67	1831	94				
1832	92	1833	110				
1834	101	1835	107				
1836	107	1837	98				
1838	111	1839	121				
1840	113	1841	60				
1842	77	1843	43				
1844	96	1845	40				
1846	115	1847	37				
1848	129	1849	117				

TAB. 23



GRAF. 19

dendrocronología maestra media, se encuentran las correlaciones para corrimientos anuales de esta serie con respecto a sí misma, el correlograma muestra el patrón de variación de estas correlaciones. Esto se observa en la tabla 24 y gráfica 20.

La información y los resultados de aplicar los modelos de regresión y correlación múltiple lineal para la ZONA III se dan en las tablas 25 y 26, en donde se observa que se obtiene un coeficiente de correlación de 0.64 con una razón de variancia de 8.965, lo cual indica una gran significancia estadística ($\alpha=0.005$), concluyéndose que el hiperplano de regresión proporciona un buen ajuste de los datos.

La información y resultados al aplicar los modelos de regresión y correlación lineal múltiple para las ZONAS I y II se tienen en el apéndice V en donde se observa que para la ZONA I, el coeficiente de correlación es de 0.30 con una razón de variancia de 1.078, en tanto para la ZONA II se obtiene un coeficiente de correlación de 0.27 con una razón de variancia de 0.903, lo cual indica que en estas dos zonas no existe significancia estadística en su relación planteada, ni al 1% ni al 5%, concluyéndose que el hiperplano de regresión no explica significativamente la variación de la variable dependiente.

La tabla 2.7 y gráfica 21 muestran los valores de los índices anuales de precipitación observados en la ZONA III y los valores que se calculan a través del modelo de regresión lineal múltiple ajustado.

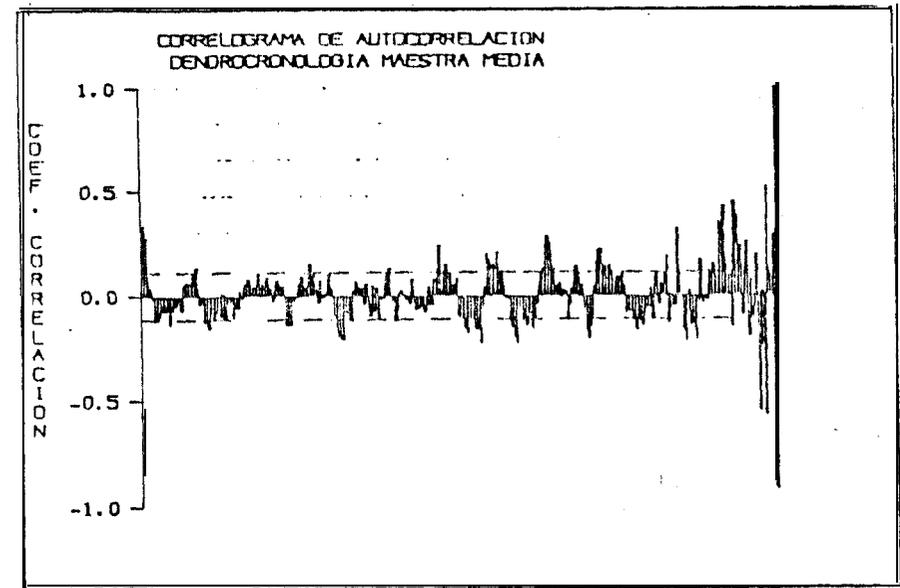
La matriz de información de las variables independientes que se in

TABLA DE AUTOCORRELACIONES PARA LA SERIE DE LA DENDRO-
CRONOLOGIA MAEBTRA MEDIA

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADO9	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.3352	2	0.2725
3	0.0828	4	0.0375
5	0.0225	6	-0.0136
7	-0.1165	8	-0.0453
9	-0.1001	10	-0.0733
11	-0.0622	12	-0.0732
13	-0.0300	14	-0.1344
15	-0.0708	16	-0.0327
17	-0.0473	18	-0.0316
19	-0.0059	20	-0.0684
21	0.0523	22	0.0612
23	0.0631	24	0.0584
25	0.1085	26	0.0654
27	0.1323	28	0.0395
29	-0.0384	30	-0.0264
31	-0.1285	37	-0.0765
33	-0.1541	34	-0.0878
35	-0.0515	36	-0.1126
37	-0.0848	38	-0.0251
39	-0.0963	40	0.0060
41	-0.1053	42	-0.0416
43	-0.0367	44	-0.0277
43	-0.1016	46	-0.0341
47	-0.0613	48	0.0249
49	-0.0135	50	0.0384
51	0.0585	32	0.0767
53	0.0940	34	0.0092
55	0.0431	56	0.0186
57	0.1047	58	-0.0086
59	0.0542	60	0.0305
61	0.0848	62	0.0402
63	0.0327	64	-0.0241
63	0.0221	bb	0.0696
67	0.0303	68	0.0064
69	0.0445	70	-0.0401
71	-0.1410	77	-0.0908
73	-0.1419	74	-0.0233
75	-0.0081	76	-0.0028
77	0.0552	78	0.0897
79	0.0270	80	0.0418
81	0.0337	ea	0.1484
83	0.0618	84	0.1145
85	0.0346	Rb	-0.0337
87	0.0718	88	-0.0098
89	0.0075	90	-0.0029
91	0.0976	92	0.0334
93	-0.0171	94	-0.0928

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADO9	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
95	-0.1724	96	-0.1944
97	-0.2002	98	-0.2090
99	-0.0876	100	-0.0863
101	-0.0202	102	-0.1236
103	0.0336	104	0.0654
105	0.0398	106	0.0240
107	0.0368	108	-0.0424
109	0.0308	110	-0.0616
111	-0.0939	112	0.0430
113	-0.0733	114	0.0351
113	-0.1012	11b	-0.0243
117	-0.0180	118	0.0695
119	0.1021	120	0.1278
121	-0.0007	122	-0.0307
123	-0.1172	124	-0.0678
125	0.0150	126	0.0236
127	0.0034	128	-0.0104
129	-0.0155	130	-0.0383
131	0.0747	132	-0.0312
133	-0.0679	134	-0.0630
135	-0.0340	136	-0.0481
137	-0.0770	138	-0.0480
139	0.0427	140	-0.0470
141	0.0748	142	0.0779
143	0.1245	144	0.2375
145	0.0173	146	0.1148
147	0.1485	148	0.0801
149	0.1032	150	0.0502
151	0.0531	152	0.0797
153	-0.0986	154	-0.0027
153	-0.1048	156	-0.1609
157	-0.1814	158	-0.1160
159	-0.1182	160	-0.0331
161	-0.1651	162	-0.1349
163	-0.2249	164	-0.0533
165	0.0397	166	0.1969
167	0.1659	168	0.1411
169	0.1473	170	0.1353
171	0.1992	172	0.0651
173	0.1141	174	0.0410
173	-0.0143	176	-0.0225
177	-0.1213	178	-0.1570
179	-0.1977	180	-0.2227
181	-0.0693	102	-0.0068
183	-0.1188	184	-0.0754
185	-0.1401	186	-0.0209
187	-0.0069	188	-0.1556
189	-0.1007	190	-0.0431
191	0.0482	197	0.1003
193	0.1279	194	0.2362
193	0.2844	196	0.2519
197	0.1951	198	0.1289

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	HUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
199	0.0489	200	0.0265
201	0.0560	202	-0.0118
203	0.0213	204	0.0167
205	-0.1173	206	-0.0452
207	0.0328	208	0.1187
209	0.1378	210	0.1046
211	-0.0088	212	0.0333
213	-0.0626	214	-0.1770
215	-0.7046	216	-0.1519
217	-0.0924	218	0.0445
219	0.1537	220	0.2131
221	0.2137	222	0.1017
223	0.1387	224	0.0826
225	0.1446	226	0.1155
227	0.0653	228	0.0387
229	0.0927	230	0.0773
231	0.1038	232	0.0439
233	-0.0830	234	-0.0169
239	-0.0791	236	-0.0333
237	-0.1223	238	-0.1649
239	-0.0555	240	-0.1215
241	-0.1477	242	-0.0872
243	-0.0630	244	-0.0603
245	0.0378	246	-0.1179
247	0.0809	248	0.0949
249	-0.0429	250	0.0543
251	0.0054	252	0.1061
253	0.1888	254	-0.1332
255	0.0089	256	-0.0530
237	-0.0560	258	0.3223
259	0.1045	260	-0.0124
261	-0.1764	262	-0.2165
263	-0.0765	264	0.0208
265	-0.1467	266	-0.1360
267	-0.2084	268	-0.0302
269	0.1683	270	-0.0307
271	-0.0166	272	-0.0241
273	0.1181	274	0.0850
275	0.1469	276	0.0255
277	0.0868	278	0.3496
279	0.1913	280	0.4216
281	0.1622	282	0.0032
283	0.0972	284	-0.1525
285	0.4402	286	0.3804
287	0.2362	288	0.2354
289	-0.0999	290	0.1278
291	0.2406	292	-0.1992
293	0.0726	294	-0.1035
295	-0.0528	296	0.1916
297	-0.5501	298	-0.2500
299	0.0169	300	-0.3776
301	0.5192	302	0.1119
303	0.0281	304	0.2888
305	-0.9167	306	1.0000



GRAF. 20

TABLA DE INFORMACION PARA EL MODELO DE REGRESION MULTIPLE ENTRE LA CRONOLOGIA MAESTRA DE PRECIPITACION DE LA ZONA III Y LA DENDROCRONOLOGIA MAESTRA MEDIA CON DESPLAZAMIENTOS

C. M. P.	DC. M. (-2)	DC. M. (-1)	DC. M.	DC. M. (+1)	DC. M. (+2)
67	107	75	00	21	75
77	75	60	21	75	53
83	60	2 1	75	53	77
109	21	75	53	77	51
67	75	53	77	51	106
52	53	77	51	106	100
137	77	51	106	100	113
165	51	106	100	113	114
92	106	100	113	114	125
97	100	113	114	125	109
113	113	124	125	109	115
88	114	125	109	115	126
85	125	109	115	116	100
97	109	115	116	100	135
96	115	116	100	135	123
W	116	100	135	123	121
102	100	135	123	121	128
100	135	123	121	128	143
100	123	121	128	143	136
100	121	128	143	136	137
J05	128	143	136	137	Ba
107	143	136	137	BB	147
106	136	137	88	147	90
97	137	88	147	90	113
77	a s	147	90	113	74
73	147	90	113	74	123
102	90	113	74	123	118
127	113	74	123	118	81
145	74	123	118	81	43
89	123	116	81	43	133
46	118	81	43	133	130
91	81	43	133	130	107
130	43	133	130	107	100
131	Z33	130	107	100	42
W	130	107	100	42	125
b7	107	100	42	125	112
81	100	42	125	112	112
105	42	125	112	112	111
108	125	112	112	111	104
104	112	112	111	104	126
101	112	111	104	126	139
9b	111	104	126	139	124
111	104	126	139	124	109
107	126	139	124	109	111
100	139	124	109	111	W
115	124	109	111	W	103
107	109	111	99	103	96
103	111	W	J03	96	21
92	W	103	96	21	96
80	103	96	21	96	54
94	96	21	96	54	86
77	21	96	54	86	90
88	96	54	86	90	112
158	54	ab	90	112	110
112	86	90	112	110	78
72	90	112	110	78	48
94	112	110	78	48	133
57	110	78	48	133	129
W	78	48	133	129	133
157	48	133	129	133	93
113	133	129	133	95	38
97	129	133	93	38	110
74	133	93	38	110	75
7b	93	38	110	75	46
90	38	110	75	46	125
82	110	75	46	125	112
136	75	46	125	112	171
153	46	125	112	171	151
116	125	112	171	151	137
90	112	171	151	137	198
85	171	151	137	198	77

TAB. 25

TABLA DE RESULTADOS DEL MODELO DE REGRESION MULTIPLE PARA LA ZONA III

Matriz de correlacion

```

.....
Renglon 1
 2: 0.217999 3: 0.274059 4: 0.161673 5: 0.092560 6: -0.249553
Renglon 2
 3: 0.337989 4: 0.323135 5: 0.153193 6: 0.220977
Renglon 3
 4: 0.349934 5: 0.290973 6: 0.464161
Renglon 4
 5: 0.26X-69 6: 0.188045
Renglon 5
 6: 0.047397

```

ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE

.....
 Coeficientes de beta ponderados

```

1: -0.453085 2: 0.184873 3: 0.542461 4: 0.039300 5: -0.104600
Coeficientes
1: -0.340497 2: 0.136530 3: 0.399194 4: 0.027733 5: -0.076521

```

```

Interception= 84.329161
R cuadrada= 0.408162
Razon de varianza= 8.965486
NDF1= 5
NDF2= 65

```

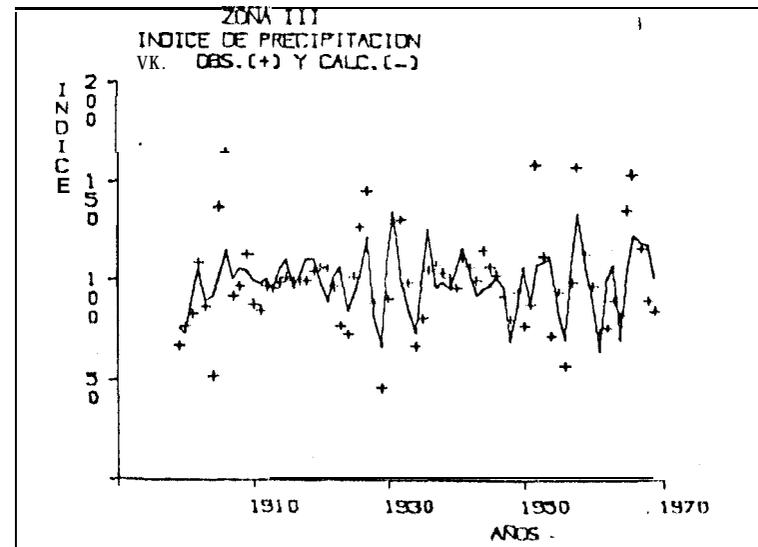
TAB. 26

TABLA DE INDICES DE PRECIPITACION OBSERVADOS Y CALCULADOS SEGUN EL MODELO DE REGRESION MULTIPLE PARA LA ZONA III

AÑOS	IND. OBB.	IND. CALC.
1899	67	76
1900	77	73
1901	83	92
1902	109	106
1903	07	90
1904	52	92
1905	137	101
1906	165	115
1907	92	100
1908	97	106
1909	113	105
1910	88	100
1911	85	98
1912	97	101
1913	96	95
1914	99	106
1915	102	111
1916	100	76
1917	100	103
1918	100	111
1919	105	111
1920	107	100
1921	106	89
1922	97	102
1923	77	107
1924	73	84
1925	102	93
1926	127	102
1927	143	172
1928	ev	81
1929	4b	b b
1930	91	111
1931	130	135
1932	131	99
1933	99	86
1934	67	73
1935	01	100
1936	103	126
1937	10e	96
1938	104	99
1939	101	95
1940	96	105
1941	111	116
1942	107	104

AÑOS	IND. OBB.	IND. CALC.
1943	100	92
1944	115	96
1945	107	97
1946	103	102
1947	92	96
1948	80	69
1949	94	87
1950	77	107
1951	88	ev
1952	158	108
1953	112	109
1954	72	111
1955	94	83
1956	57	70
1957	99	110
1958	137	134
1959	113	109
1960	97	0H
1961	74	64
1962	76	100
1963	90	108
1964	82	70
1965	136	105
1966	153	123
1967	116	119
1968	90	118
1969	85	101

TAB. 27



GRAF. 21

roduce al modelo de regresión lineal múltiple ajustado, para la reconstrucción hacia el pasado del índice anual de precipitación en la ZONA III, se da en la tabla 28, mientras que la tabla 29 y la gráfica 22 muestran esta reconstrucción localizada en el tiempo.

El resultado de aplicar el modelo de autocorrelación desplazada a la cronología maestra de precipitación reconstruida, da las correlaciones entre la misma serie para corrimientos anuales y el correlograma exhibe este patrón de variación. Esto se muestra en la tabla 30 y gráfica 23.

D	C	M(-2)	DC	M(-1)	DC	M	DC	M(+1)	DC	M(+2)	DC	M(-2)	DC	M(-1)	DC	M	DC	M(+1)	DC	M(+2)	DC	M(-2)	DC	M(-1)	DC	M	DC	M(+1)	OC	M(+2)		
111		119		76		19		96		96		126		90		78		82		108		108		VO		113		74		123		118
119		76		19		96		62		62		90		78		82		100		107		107		113		74		123		118		81
76		19		96		62		34		34		78		82		108		107		101		101		74		123		118		81		43
19		96		62		34		96		96		82		108		107		101		70		70		123		118		81		43		133
Qb		62		34		Qb		97		97		108		107		101		70		101		101		118		81		43		133		130
62		34		96		97		131		131		107		101		70		101		47		47		81		43		133		130		107
34		96		97		97		110		110		101		70		101		47		92		92		43		133		130		107		100
96		97		131		118		121		121		70		101		47		92		60		60		133		130		107		100		42
97		131		118		121		33		33		101		47		92		60		66		66		130		107		100		100		42
131		118		121		33		67		67		47		92		60		66		63		63		107		100		100		42		125
118		171		33		67		94		94		92		60		66		63		63		63		100		100		42		125		112
121		33		b?		94		92		92		60		66		63		109		96		96		42		125		112		112		111
33		67		94		92		110		110		66		63		109		96		101		101		125		112		112		111		104
67		94		92		110		101		101		63		109		96		101		104		104		112		112		111		104		126
94		92		110		101		107		107		109		96		101		104		90		90		112		111		104		126		139
92		110		101		107		107		107		96		101		104		90		90		90		111		104		126		139		124
110		101		107		107		98		98		101		104		90		91		120		120		104		126		139		124		109
101		107		107		98		111		111		104		90		91		120		134		134		126		139		124		109		111
107		107		98		111		121		121		90		91		120		134		126		126		137		124		109		111		99
107		98		111		121		113		113		91		120		134		126		114		114		124		109		111		99		103
98		111		121		113		60		60		120		134		126		114		74		74		109		111		99		103		96
111		121		113		60		77		77		134		126		114		74		98		98		111		99		103		96		21
121		113		60		77		43		43		126		114		74		98		108		108		103		96		21		96		96
113		60		77		43		96		96		114		74		98		108		107		107		103		96		21		96		54
60		77		43		96		40		40		74		98		108		107		73		73		0h		21		96		54		86
77		43		96		40		115		115		98		108		107		73		75		75		21		96		54		Sb		90
43		96		40		113		37		37		108		107		73		60		60		60		21		96		54		Sb		VO
Qb		40		113		37		129		129		107		73		60		21		75		75		54		96		90		112		110
40		113		37		129		117		117		75		60		21		75		53		53		86		90		112		110		78
115		37		129		117		135		135		75		60		21		75		53		53		86		90		112		110		48
37		129		117		135		93		93		60		21		75		53		77		77		90		112		110		70		48
129		117		135		93		105		105		21		75		53		53		77		77		112		110		78		48		133
117		135		93		105		197		197		107		73		60		21		51		51		110		110		78		48		129
117		135		93		105		114		114		53		77		60		21		106		106		110		110		78		48		133
735		93		105		127		127		127		77		77		60		21		106		106		78		48		133		129		133
93		105		127		127		114		128		51		106		100		113		100		100		48		133		129		133		93
105		127		114		128		126		126		106		100		113		114		113		113		48		133		129		133		93
127		114		128		126		66		66		106		100		113		114		125		125		48		133		129		133		93
114		128		126		66		122		122		100		113		114		125		109		109		48		133		129		133		93
128		126		bb		122		98		98		113		114		123		109		115		115		48		133		129		133		93
126		bb		122		98		82		82		114		123		109		115		115		115		48		133		129		133		93
66		122		98		82		105		105		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
122		98		82		105		113		113		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
98		82		105		113		98		98		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
82		105		113		98		66		66		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
105		113		98		66		92		92		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
113		98		66		92		127		127		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
98		66		92		127		110		110		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
66		92		127		110		144		144		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
92		127		110		144		142		142		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
127		110		144		142		126		126		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
110		144		142		126		90		90		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
144		142		126		90		78		78		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93
142		126		90		78		82		82		114		123		109		115		116		116		48		133		129		133		93

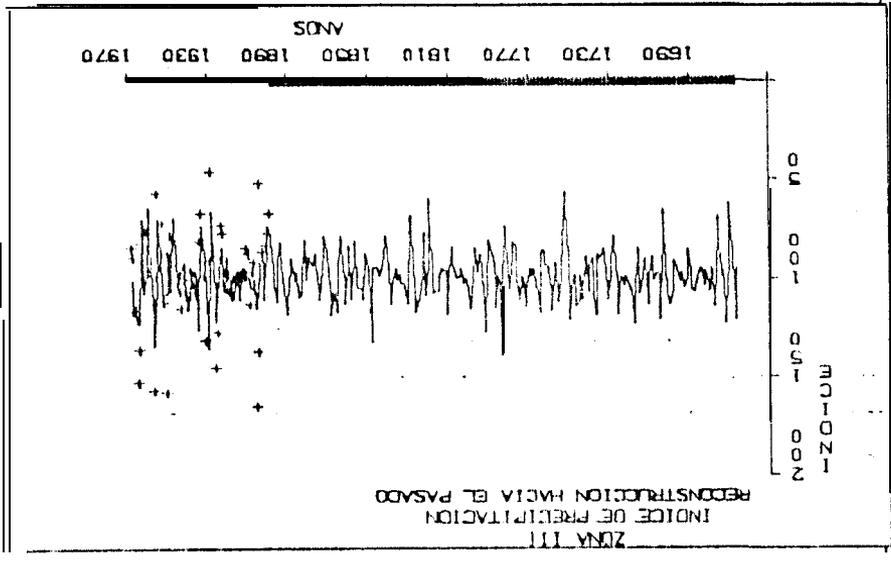
CONT. TAR.28

RECONSTRUCCION DE LA CRONOLOGIA MAESTRA EN PRECIPITACION
HACIA EL PASADO EN LA ZONA III

AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE
1666	95	1667	121
1668	96	1669	81
1670	62	1671	98
1672	123	1673	96
1674	99	1675	86
1676	69	1677	104
1678	114	1679	93
1680	107	1681	102
1682	96	1683	104
1684	95	1685	93
1686	98	1687	104
1688	107	1689	106
1690	94	1691	86
1692	101	1693	103
1694	97	1695	102
1696	97	1697	94
1698	VI	1699	107
1700	113	1701	109
1701	100	1703	63
1704	88	1705	121
1706	98	1707	97
1708	101	1709	89
1710	97	1711	113
1712	96	1713	90
1714	102	1715	108
1716	85	1717	99
1718	123	1719	109
1720	106	1721	102
1722	98	1723	104
1724	99	1725	102
1726	118	1727	97
1728	78	1729	88
1730	102	1731	111
1732	101	1733	85
1734	87	1735	90
1736	88	1737	119
1738	111	1739	90
1740	93	1741	107
1742	89	1743	100
1744	111	1745	98
1746	112	1747	114
1748	98	1749	104
1750	121	1751	84
1752	36	1753	62
1754	89	1755	103
1756	112	1757	92
1758	99	1759	116
1760	104	1761	93

AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE
1762	94	1763	86
1764	87	1765	117
1766	106	1767	103
1768	95	1769	99
1770	95	1771	103
1772	114	1773	101
1774	99	1775	111
1776	153	1777	83
1778	RI	1779	92
1780	106	1781	100
1782	73	1783	93
1784	139	1785	100
1786	98	1787	113
1788	92	1789	86
1790	80	1791	92
1792	127	1793	114
1794	91	1795	88
1796	97	1797	84
1798	93	1799	113
1800	113	1801	104
1802	100	1803	103
1804	93	1805	99
1806	100	1807	99
1808	94	1809	84
1810	94	1811	118
1812	96	1813	96
1814	93	1815	98
1816	107	1817	106
1818	108	1819	86
1820	59	1821	97
1822	109	1823	78
1824	101	1825	112
1826	111	1827	117
1828	99	1829	68
1830	69	1831	113
1832	106	1833	103
1834	103	1835	98
1836	101	1837	93
1838	100	1839	113
1840	103	1841	81
1842	78	1843	91
1844	94	1845	99
1846	94	1847	93
1848	94	1849	132
1850	104	1851	93
1852	87	1853	111
1854	103	1855	106
1856	105	1857	80
1858	73	1859	111
1860	83	1861	99
1862	113	1863	97
1864	78	1865	91
1866	117	1867	107

AÑOS	INDICE	AÑOS	INDICE
1868	107	1869	114
1870	101	1871	85
1872	78	1873	91
1874	107	1875	111
1876	96	1877	88
1878	94	1879	91
1880	87	1881	101
1882	00	1883	93
1884	108	1885	110
1886	94	1887	102
1888	Ch	1889	40
1890	108	1891	118
1892	401	1893	96
1894	81	1895	he
1896	112	1897	100
1898	92	1899	76
1900	73	1901	92
1902	106	1903	106
1904	92	1905	101
1906	115	1907	00
1908	106	1909	100
1910	100	1911	98
1914	e141	1913	95
1916	101	1915	111
1918	VA	1916	100
1920	111	1919	111
1922	102	1921	89
1924	100	1922	107
1926	84	1925	93
1928	100	1927	122
1930	81	1929	v 6
1932	111	1931	135
1934	94	1933	86
1936	100	1935	96
1938	126	1937	99
1940	94	1939	99
1942	104	1941	116
1944	96	1943	92
1946	102	1945	97
1948	67	1947	96
1950	107	1949	87
1952	108	1951	87
1954	111	1953	109
1956	108	1955	83
1958	104	1957	110
1960	88	1959	401
1962	100	1961	64
1964	70	1963	108
1966	100	1965	105
1968	123	1967	119
1969	118	1969	101



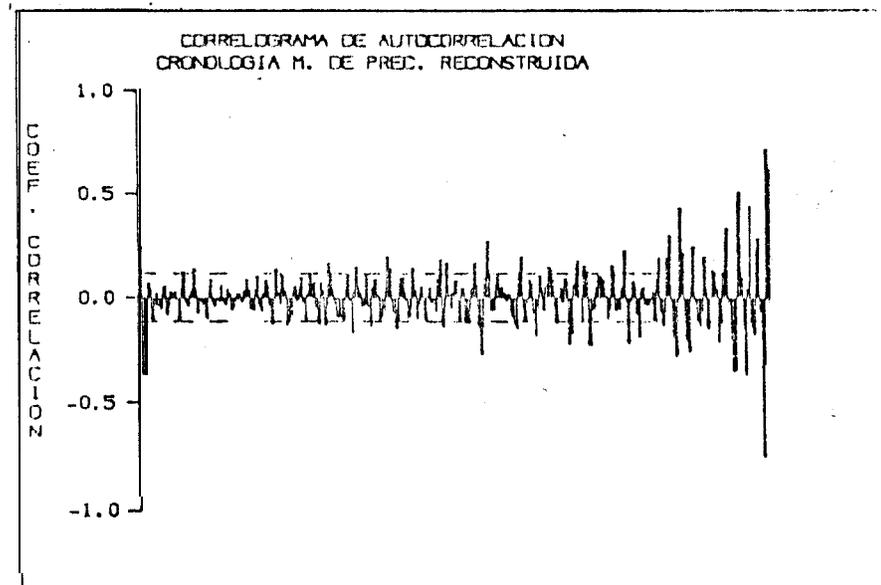
GRAF. 22

TABLA DE AUTOCORRELACIONES DE LA CRONOLOGIA EN PRECIPITACION RECONSTRUCTIDA HACIA EL PASADO CON DESPLAZAMIENTOS EN EL TIEMPO

ZONA 111

NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
1	0.2394	c	-0.3688
2	-0.2190	-	-0.0294
3	0.0637	6	0.0361
4	-0.1003	8	-0.0353
5	0.0212	10	-0.0371
6	-0.0006	12	0.0412
7	0.0523	14	-0.0801
8	-0.0414	16	0.0289
9	-0.0030	18	0.0283
10	-0.0124	20	-0.1103
11	0.0331	22	0.1216
12	-0.0207	24	-0.0411
13	0.0083	26	0.0347
14	0.1330	28	0.0197
15	-0.0742	30	-0.0197
16	-0.0136	32	-0.0409
17	-0.0981	34	0.0027
18	0.0839	36	-0.0272
19	-0.0432	38	-0.0064
20	-0.0203	40	0.0346
21	-0.0130	42	-0.0329
22	0.0394	44	0.1649
23	-0.0612	46	-0.0428
24	-0.0110	48	0.0190
25	-0.0030	50	-0.0018
26	0.0335	52	-0.0867
27	0.0378	54	-0.0476
28	-0.0386	56	0.0329
29	-0.1007	58	-0.0410
30	-0.0653	60	0.0198
31	0.0791	62	0.0370
32	-0.0331	64	-0.1280
33	-0.0093	66	0.1362
34	0.0234	68	-0.0349
35	0.1070	70	0.0336
36	-0.1323	72	-0.1139
37	-0.0885	74	-0.0232
38	0.0494	76	-0.0177
39	0.0379	78	0.0936
40	-0.0231	80	-0.1032
41	0.0127	82	0.1128
42	0.0477	84	0.0700
43	-0.0701	86	-0.1256
44	0.1609	88	0.0344
45	0.1609	90	-0.0394
46	0.0986	92	0.0986
47	-0.0320	94	-0.0320
48	0.0127	96	0.0127
49	0.0127	98	-0.0127
50	0.0127	100	-0.0127
51	0.0127	102	-0.0127
52	0.0127	104	-0.0127
53	0.0127	106	-0.0127
54	0.0127	108	-0.0127
55	0.0127	110	-0.0127
56	0.0127	112	-0.0127
57	0.0127	114	-0.0127
58	0.0127	116	-0.0127
59	0.0127	118	-0.0127
60	0.0127	120	-0.0127
61	0.0127	122	-0.0127
62	0.0127	124	-0.0127
63	0.0127	126	-0.0127
64	0.0127	128	-0.0127
65	0.0127	130	-0.0127
66	0.0127	132	-0.0127
67	0.0127	134	-0.0127
68	0.0127	136	-0.0127
69	0.0127	138	-0.0127
70	0.0127	140	-0.0127
71	0.0127	142	-0.0127
72	0.0127	144	-0.0127
73	0.0127	146	-0.0127
74	0.0127	148	-0.0127
75	0.0127	150	-0.0127
76	0.0127	152	-0.0127
77	0.0127	154	-0.0127
78	0.0127	156	-0.0127
79	0.0127	158	-0.0127
80	0.0127	160	-0.0127
81	0.0127	162	-0.0127
82	0.0127	164	-0.0127
83	0.0127	166	-0.0127
84	0.0127	168	-0.0127
85	0.0127	170	-0.0127
86	0.0127	172	-0.0127
87	0.0127	174	-0.0127
88	0.0127	176	-0.0127
89	0.0127	178	-0.0127
90	0.0127	180	-0.0127
91	0.0127	182	-0.0127
92	0.0127	184	-0.0127
93	0.0127	186	-0.0127
94	0.0127	188	-0.0127
95	0.0127	190	-0.0127
96	0.0127	192	-0.0127
97	0.0127	194	-0.0127
98	0.0127	196	-0.0127
99	0.0127	198	-0.0127
100	0.0127	200	-0.0127

NUMERO DE AÑO 6 DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION	NUMERO DE AÑOS DESPLAZADOS	COEFICIENTE DE CORRELACION
199	-0.1232	200	0.0023
201	0.0468	202	-0.0243
203	0.0900	204	0.0776
205	-0.2186	206	-0.1704
207	0.0638	208	0.1372
209	0.1737	210	-0.0033
211	-0.1182	212	0.1474
213	0.1263	214	-0.2232
215	-0.2255	216	-0.0575
217	-0.0499	218	0.0526
219	0.1018	220	0.0916
221	0.0821	222	0.0059
223	-0.1006	224	-0.0355
223	0.1468	226	0.1166
227	-0.0577	228	-0.0450
229	-0.0321	230	0.0491
231	0.2196	232	-0.0200
233	-0.2134	234	-0.0179
2 3 3	0.0766	236	0.0461
237	-0.0804	238	-0.1839
239	0.0293	240	0.0433
241	-0.0328	242	-0.0001
243	-0.0340	244	-0.0183
245	0.0252	246	-0.1096
247	0.0927	248	0.1831
249	-0.0674	250	-0.1318
251	-0.0821	252	0.1879
253	0.2987	254	-0.0221
255	-0.1918	256	-0.2764
257	-0.0330	258	0.4331
259	0.2096	260	-0.0888
261	-0.2102	262	-0.2571
263	0.0301	264	0.2407
265	-0.0255	266	-0.1024
267	-0.1374	268	-0.0691
269	0.1933	270	0.0340
271	-0.1532	272	-0.0052
273	0.1299	274	0.1213
273	0.0443	276	-0.2130
277	-0.1323	278	0.1190
279	0.2704	280	0.3311
281	-0.0311	282	-0.2020
283	-0.3609	284	-0.3487
203	0.4670	286	0.5069
207	0.0962	288	-0.1333
289	-0.3660	290	0.0419
291	0.4378	292	-0.1427
293	-0.1781	294	0.2129
295	0.2816	296	-0.0669
297	-0.7449	298	-0.3130
299	0.7134	300	0.6163



GRAF. 23

DISCUSION

Para iniciar con el estudio de la precipitación fue necesario construir diagramas de dispersión en el tiempo de dicho parámetro para tener idea de su comportamiento. Al analizar estas gráficas de precipitación total anual (apéndice 1) se contempló que este parámetro ha tenido gran variabilidad con el tiempo, por lo que es interesante y de suma importancia encontrar modelos explicativos de dicha variabilidad.

Es menester mencionar que el análisis que se llevó a cabo, fue a un nivel macroclimático, es decir, el interés se enfocó en conocer a gran escala el tipo de variación en precipitación a lo largo de la Península de Baja California y no en lugares aledaños a una sola estación climatológica.

Del análisis visual comparativo de las precipitaciones en las diferentes estaciones climatológicas, se concluye que es prácticamente imposible tratar de detectar patrones similares en variación de este parámetro de estación a estación, sin antes someter la información en bruto a un análisis de series de tiempo. Para tal efecto, se suavizó la curva representativa de la precipitación total anual, a través de promedios móviles centrados, a fin de encontrar mediante este método la tendencia del parámetro con el tiempo. Recordando que las dendrocronologías maestras están calculadas en base a promedios móviles centrados (Stokes & Smiley, 1968) de 10 ó 20 años para períodos menores o mayores de 400 años de información respectivamente y sabiendo que un promedio móvil aplicado a una serie de datos, produce otra serie que es más corta que la original en tantos años menos como los considerados para formar dichos promedios, se trabajó con promedios móviles centrados de 10 años para

evitar pérdida de información en las colas de la distribución temporal, así como para tener una mayor confluencia al relacionar los resultados con las dendrocronologías maestras.

Al analizar los resultados obtenidos para la precipitación media anual se visualizó que para algunos grupos de estaciones climatológicas el patrón de variación de precipitación media anual en el tiempo era semejante, aunque la cantidad neta de precipitación esperada variara de una estación a otra. Esto sirvió como índice para establecer la hipótesis de que existen algunas localidades con variación homogénea en su precipitación, por lo cual, se empezó por detectar a través de un método cuantitativo las posibles regiones existentes que puedan agrupar a estas localidades.

En el análisis visual de las estaciones climatológicas se eligieron tres localidades, que por conveniencia geográfica y por tener muy diferente patrón de variabilidad en su precipitación media anual, podrían constituir tres diferentes grupos con patrones similares dentro de cada uno de ellos. Las estaciones climatológicas testigo elegidas fueron: La Paz, B. C. S., Mulegé, B. C. S. y Ensenada, B. C. Al analizar las gráficas de estas estaciones (apéndice II) se destaca que mientras La Paz, B.C.S. tiene un pico máximo en su precipitación media en el año de 1939, Mulegé, B.C.S. lo presenta en el año de 1958 y Ensenada, B. C. exhibe dos picos máximos principales, el mayor de éstos se presenta en el año de 1923 y el segundo, menor que el primero en el año de 1940. En general las tres distribuciones temporales de la precipitación media tienen más diferencias que similitudes cuando son comparadas año a año. Esto se comprobó cuantitativamente cuando se sometieron las tres series de tiempo al modelo de correlación cruzada de dos en dos, obteniéndose

correlaciones muy bajas, las cuales no tienen significancia estadística ni al 5%, a pesar de que existen más de 50 años de información considerada en el modelo, (apéndice IV).

Cuando se analizaron los resultados de las correlaciones cruzadas de las estaciones testigo con cada una de las estaciones climatológicas, se observó que algunas de estas estaciones se correlacionaron con dos estaciones testigo, decidiéndose agruparlas con la testigo que guardara una correlación más significativa, así quedó formada la ZONA I con estación testigo La Paz, B.C.S., la ZONA II con estación testigo Mulegé, B.C.S. y la ZONA III con estación testigo Ensenada, B.C., comprobándose que el análisis visual de la curva de precipitación media anual hecho originalmente para cada estación climatológica en verdad había sido revelador, ya que la mayoría de las estaciones con cierto patrón identificado con el patrón de variación de alguna testigo, se agrupó en la zona de dicha estación testigo, una vez que se aplicó el método cuantitativo. Del proceso de zonificación se observó que de las 119 estaciones climatológicas con que se empezó el análisis, solamente 103 quedaron debidamente zonificadas y las 16 estaciones restantes no mostraron correlación significativa con ninguna de las zonas, siendo la generalidad de éstas, estaciones climatológicas ubicadas en regiones que podemos llamar de transición entre zonas bien definidas, por ejemplo, quedaron 5 estaciones sin zonificar en la región de transición entre la ZONA I y ZONA II, otras 6 estaciones sin zonificar quedaron situadas en línea recta en la región de transición entre la ZONA II y ZONA III, quedando 5 estaciones sin zonificar y sin ningún patrón aparente. Este trabajo no contempla el análisis de las 16 estaciones no zonificadas, aunque no se excluye la importancia que podrían tener en un análisis más completo o a nivel microclimático.

Como la precipitación media anual para las estaciones que constituyen cada una de las zonas muestran patrones de variación similares u homogéneos, aunque los valores observados de la precipitación media anual varíen de una estación a otra, se calculó una precipitación media anual promedio por cada zona, promediando las precipitaciones medias anuales de todas las estaciones dentro de una misma zona. Desde luego que tenemos que recordar que este promedio en precipitación media anual está -enmascarando una variación, debido a que fue calculado de un grupo de estaciones climatológicas con valores de precipitación media anual diferentes, pero si el interés principal es conocer por término medio como varía este parámetro dentro de una zona, sin que el patrón resultante se vea seriamente modificado con respecto a los patrones de variación de las estaciones climatológicas en la zona, su aplicación es relevante.

Se analizaron los patrones de variación de la precipitación media anual que resultaron para cada zona con respecto a los patrones observados en las estaciones testigo que las representan, para verificar si el proceso de haber tomado promedios anuales en las precipitaciones medias dentro de cada zona modificaban substancialmente estos patrones observados. Así, para la ZONA I (gráfica 1) se observa que existe un pico máximo en la precipitación media en el año de 1939, el cual se presenta en el mismo año en su estación testigo La Paz, B.C.S.; para la ZONA II (gráfica 2) existe un valor máximo en la precipitación media en el año de 1958 al igual que en su estación testigo Mulegé, B.C.S., aunque aparecen máximos de consideración hacia los años de 1921 y 1936, donde éste último ya estaba también identificado en la estación testigo; para la ZONA III (gráfica 3) se observa un pico máximo de precipitación media en el año de 1923 y otro en 1940, éste último de menor magnitud, los cuales fueron debidamente identificados en la estación climatológica de Ensenada, B.C., testigo de la ZONA III.

Por el análisis anterior podemos concluir, que el hecho de haber promediado las precipitaciones medias anuales dentro de cada zona, no modifica substancialmente el patrón de variación generalizado de la zona correspondiente.

Cuando fueron sometidas las series de precipitación media anual por zonas, al análisis de autocorrelación desplazada, se tenía en mente que los patrones de variación podían seguir un comportamiento cíclico y por lo tanto ser representados por un modelo de componentes periódicas. Se encontró al analizar el correlograma (gráfica 4) para la ZONA 1, que aparentemente existe un período de 47 años en el cual el patrón de variación efectúa un determinado ciclo, ya que un retardo de esta serie sobre sí misma, produce un decremento en su correlación que es efecto del defasamiento, hasta llegar a una correlación mínima lo cual indica que existe un defasamiento máximo entre las series, después de este punto la correlación se incrementa hasta llegar a un máximo que es el punto donde han entrado en fase las dos series. Esto se observa para el correlograma que representa a la ZONA 1, en donde para un retardo de 47 años, se obtiene un coeficiente de correlación de 0.8867 que es altamente significativo ($\alpha = 0.01$). Al considerar el mismo tipo de análisis para la ZONA II, se encontró que aparentemente existe un ciclo con período de 19 años, lo cual se puede observar en el correlograma (gráfica 5) de la ZONA II, en donde se tiene una correlación (tabla 5) de 0.3761 para un retardo de la serie sobre sí misma de 19 años, esta correlación tiene alta significancia estadística ($\alpha = 0.01$). En el mismo correlograma de la ZONA II (gráfica 5), se contempla la repetición aparente del mismo ciclo, ya que efectivamente para un retardo de la serie de 38 años se logra otro pico máximo en su correlación, en este caso fue de 0.3903, que aunque no es altamente significativa ($\alpha = 0.01$), si tiene significancia estadística ($\alpha = 0.05$). Se observa que a pesar de que el

coeficiente de correlación obtenido para el primer máximo es menor que el segundo, éste tiene mayor significancia estadística debido a que está relacionando a través del modelo de autocorrelación desplazada información de un mayor número de años y conforme las series son desplazadas se pierde parte de la información en las colas de la distribución, lo que ocasiona una pérdida de significación estadística.

Para el análisis de la ZONA III, se encontró del correlograma (gráfica 6) una disminución en la correlación para un retardo de las series de 23 años, ésta fue 0.2163, pero no significativa, lo cual deja en duda la posible detección de un ciclo. El primer máximo en la correlación se obtiene para un retardo de 26 años, alcanzándose un valor de 0.3398 el cual fue significativo estadísticamente ($\alpha = 0.05$) sugiriendo la posibilidad de un ciclo con este período. Un segundo mínimo se presenta al desplazar las series 42 años obteniéndose una correlación de -0.5074 el cual es altamente significativo ($\alpha = 0.01$), pero como la correlación para el primer mínimo fue no significativa, persiste la duda de la existencia de un posible ciclo de un período de 19 años. Un máximo aparente se encuentra al retardo de 52 años, pero por ser tan pobre su correlación, su confiabilidad es baja, aunque podría ser el reflejo de la repetición del primer posible ciclo existente con período de 26 años. Un tercer mínimo de correlación se encuentra para un retardo de series de 54 años, 12 años después del primer mínimo altamente significativo, lo que bien podría indicar un posible ciclo de alrededor de 12 años, aunque esto no es apoyado estadísticamente ya que la correlación -0.0504 obtenida para este tercer mínimo no tiene significación. Un tercer máximo aparece en el retardo de 57 años de las series, con una correlación de 0.6714, la cual es altamente significativa ($\alpha = 0.01$). Este último máximo podría reflejar la existencia de un ciclo de 31 años de pe-

río do aproximado, tomando en cuenta que el primer máximo significativo se presentó al retardo anual 26; como también podría reflejar un ciclo corto de 5 años de periodo, debido a que el máximo inmediato anterior se presentó para el retardo anual 52, aunque éste fue no significativo.

Con la finalidad de aclarar al máximo las interrogantes acerca de los posibles ciclos en la precipitación media de las distintas zonas, se hizo una partición de éstas formándose secciones dentro de cada una de ellas. El criterio que se estableció para la seccionalización está basado en que la mayoría de las estaciones climatológicas, empiezan a tener información de precipitación en años diferentes, según su antigüedad y aunque la mayoría de éstas terminan su información en el mismo año, también se presentan desapariciones de algunas estaciones en los años recientes; debido a la no uniformidad en los períodos de información, de las estaciones climatológicas en el intervalo de tiempo que contempla **este** estudio, se llevó a cabo la partición de las zonas, quedando las secciones formadas por estaciones climatológicas que poseen el mismo período de información. Con el proceso anterior, se fortalece la hipótesis de homogeneidad de los patrones de variación en precipitación media anual dentro de cada zona, ya que se evita que en los años donde aparecen o desaparecen estaciones climatológicas, que bien pueden ser de muy alta o muy baja precipitación, se tengan estimaciones que afecten drásticamente la tendencia en precipitación media anual y más aun, la forma del patrón de variación de dicho parámetro.

ZONA I

El análisis de la sección 1 se hizo al analizar la estación testigo La Paz, B. C. S., puesto que es la única estación que forma esta sección.

Al analizar las demás secciones de esta zona (tablas y gráficas de precipitación media anual, por secciones, apéndice IV), se encuentra que las secciones III, IV, V, VI, VII y VIII presentan el máximo de precipitación media anual en el año de 1954 y que la sección II lo presenta en 1959 pero su diferencia neta en precipitación con respecto de 1954 es apenas de 0.9 mm, por lo que podemos considerar que el año de 1954 representa un máximo de precipitación media anual en estas secciones. Se observa además que el año de 1959, cinco años después se presenta otro máximo en precipitación media anual, casi de igual magnitud que el de 1954, en cada una de las secciones de la zona. Si se observa la precipitación media anual de la ZONA 1 (tabla 1 y gráfica 1), se encuentra que en 1953 existe un máximo de este parámetro, el cual tiene solo 7.86 mm sobre el valor de? mismo en 1954.

Del análisis de autocorrelación desplazada aplicado a la sección 1, se obtiene una correlación máxima para un retardo de las series de 44 años, ésta fue de 0.8369 con una alta significancia estadística ($\alpha = 0.01$), lo cual sugiere la posible existencia de un ciclo cuyo período coincide con este retardo (ver tablas y correlogramas de autocorrelación desplazadas, para secciones, apéndice IV).

En la sección II, se alcanza una correlación máxima de 0.6422 altamente significativa ($\alpha = 0.01$) para un retardo de las series de 18 años; para la sección III, se tiene al retardo anual 22 una correlación máxima de 0.6702, la cual es significativa estadísticamente ($\alpha = 0.05$); con la sección IV, se encontró que para retardos de 18 y de 22 años en las series, las correlaciones son máximas, con valores de 0.5886 y 0.6896

respectivamente, ambas con significación estadística ($\alpha = 0.05$), sugiriéndose además la posibilidad de la existencia de un ciclo de período pequeño.

En el análisis de la sección V, se notó que para retardos de las series en 18 y 21 años existe significancia estadística ($\alpha = 0.05$) en sus correlaciones, que fueron 0.6372 y 0.7139 respectivamente; para la sección VI, se encontró alta significancia estadística ($\alpha = 0.01$) en la correlación de 0.7497, calculada para un retardo en las series de 18 años, aunque también aquí se encontró que para un retardo de 22 años el coeficiente de correlación de 0.7125 es significativo ($\alpha = 0.05$), lo cual vuelve a sugerir la existencia de un ciclo corto. Cuando se trabajó con la sección VII, aparecieron valores máximos de correlación en retardos de 15, 18 y 21 años siendo éstos de 0.7067, 0.7034 y 0.8232 respectivamente, los cuales fueron significativos estadísticamente ($\alpha = 0.05$), manifestando de nuevo la posible existencia de un ciclo de período corto; por último, el análisis de la sección VIII conduce al resultado de una alta correlación para retardos en las series de 16 y 18 años, cuyos valores de 0.6574 y 0.7200 respectivamente fueron significativos al 5%.

Al hacer una recapitulación del análisis por secciones de la ZONA I, se encuentra que el ciclo aparentemente identificado en esta zona, cuyo período se encuentra alrededor de 47 años, es también identificado en la sección I de la misma zona con una ligera variación en su período, ya que aquí se observa de 44 años. De la sección II a la sección VIII, se pudo notar, la insistencia en aparición de valores máximos en corre-

lación para retardos de las series entre 18 y 22 años, lo que sugiere de manera general un ciclo cuyo período se encuentre entre estos valores y además la posible existencia de un ciclo corto de alrededor de 4 años de período.

Concluimos el análisis de esta zona, remarcando que el método de partición en secciones, fue de gran ayuda en la detección de nuevos ciclos del parámetro precipitación media anual.

ZONA II

Se observa del análisis de las seis secciones de esta zona (tablas y gráficas de precipitación media anual, por secciones, apéndice IV) que el parámetro precipitación media anual tiene valores máximos repetitivos hacia los años de 1939 y 1958 lo que posiblemente sea el reflejo de un ciclo con período aproximado de 10 años. Más aún, el análisis de autocorrelación (ver tablas y correlogramas de autocorrelación desplazada, por secciones, apéndice IV) desplazada para estas secciones nos dicen, que para la sección I, el valor máximo de la correlación lo alcanza para un retardo en las series de 15 años, con 0.7485, el cual es altamente significativo ($\alpha = 0.01$); en la sección II, se encuentra del análisis de autocorrelación desplazada, que existe un pico de correlación mínima con valor de -0.8752 el cual es altamente significativo ($\alpha = 0.01$) para un retardo de 26 años y un segundo mínimo con valor de -0.9130 también muy significativo ($\alpha = 0.01$), para 34 años desplazados; aún se presenta un tercer mínimo para el retardo 39 con valor de -0.7218 que tiene significación al 1%; quizá el análisis anterior lo que esté

reflejando sea la existencia de un ciclo con un período de alrededor de cinco años.

En la sección III, se encuentra el primer mínimo de correlación para el retardo de 11 años, con valor de -0.3225 que tiene significación al 5%, el segundo mínimo se encuentra en el retardo 18 y cuyo valor de -0.2651 no posee significancia ni al 5% pero podría reflejar algún ciclo; se encuentra para un retardo de 23 años un máximo en correlación de 0.0821, el cual lógicamente no tiene significancia estadística pero se mantiene en mente; otro mínimo de correlación con alta significancia estadística ($\alpha = 0.01$) se encuentra para un retardo de 34 años, cuyo valor es de -0.9016, lo cual puede reflejar un ciclo de período próximo a los 23 años, si recordamos que el mínimo anterior de correlación significativa se encontró para un retardo de 11 años.

Para la sección IV, se encuentra también el primer mínimo de correlación para un retardo de 11 años, con valor de -0.7376 que es altamente significativo ($\alpha = 0.01$), el segundo mínimo se presenta para el retardo 17, con valor de -0.6492 que también es muy significativo ($\alpha = 0.01$) lo que revela probablemente un ciclo de corto período, además existe un valor intermedio entre los dos mínimos de correlación que es -0.5571 con significancia estadística al 5% que se presenta para 15 años de retardo.

Al pasar a la sección V, de nuevo se encuentra un mínimo en correlación para 11 años retardados, con valor de -0.7658 que es significativo al 1% y el segundo mínimo se repite en el retardo 17 con una correlación de -0.5438, significativa al 5%, reflejando similarmente un ciclo

de corto período, se observa además un valor máximo de correlación para el retardo 22, de 0.559 que no es significativo estadísticamente, pero puede indicar algún período oculto. Por último, al analizar la sección VI, se reafirma que para el retardo 11 se encuentra el valor mínimo en correlación de -0.7689 significativo al 1% y que para el retardo número 18 se encuentra el segundo mínimo con una correlación de -0.6769 lo cual también es altamente significativo ($\alpha = 0.01$), sugiriéndose la posibilidad de existencia de un ciclo de corto período, también se observa que para un retardo de 21 años la correlación se incrementa al máximo, aunque sin llegar a la significación del 5% pero importante el comportamiento para mantenerlo en mente.

Haciendo un resumen del análisis de la ZONA II, encontramos que la suposición de la existencia de un ciclo de periodo aproximado de cinco años está bastante apoyado por este análisis, y en función de prioridades vendrían las suposiciones de existencia de ciclos con períodos aproximados de 23, 15 y 10 años respectivamente.

ZONA III

El análisis de la sección 1, se hizo al analizar la estación testigo de Ensenada, B. C., ya que únicamente esta estación forma la sección 1, ésta presenta dos picos máximos en su precipitación media anual, uno en 1923 y el otro en 1940. Las secciones II, III y IV ya no presentan el máximo de 1923 (ver tablas y gráficas de la precipitación media anual, por secciones, apéndice IV), ya que las estaciones climatológicas que las componen aparecen después de 1923, pero presentan el máximo de precipitación media anual en 1940.

De aquí, se puede concluir, al igual que en las otras zonas, que el hecho de seccionar las zonas de estudio *no* modifican drásticamente el patrón de variación y si auxilian en la detección de periodicidades cíclicas.

Analizando las autocorrelaciones desplazadas para las secciones de esta zona (ver tablas y correlogramas de autocorrelación desplazada, por secciones, apéndice IV) se puede observar, que en la sección 1 se alcanza un máximo de correlación para un retardo de 12 años, con valor de 0.4568 el cual es altamente significativo ($\alpha = 0.01$), con la posible existencia de un ciclo de período aproximado a este desplazamiento; el primer mínimo en la correlación se alcanza en un retardo de 29 años con valor de -0.4964 que es significativo al 1%; existe un ligero incremento en la correlación para el retardo 33, con valor de -0.3805 que es significativo al 5%, ésto podría sugerir otro ciclo de período aproximado de 21 años, recordando que existe el primer máximo en 12 años de retardo; el segundo mínimo en correlación se presenta para un retardo de 42 años, con valor de -0.8997, que, es altamente significativo y además sugiere la existencia de un ciclo con periodicidad de 13 años, recordando que el primer mínimo se tiene en el retardo 29; en el retardo 52 se encuentra una ligera elevación de la correlación, a un valor de -0.3792 que aunque no es significativo podría sugerir la existencia de una periodicidad aproximada de 19 años, dado que el incremento significativo anterior se alcanzó para un retardo de 33 años; el tercer mínimo en correlación se presenta al retardo 54, con un valor de -0.5459 que tiene el 5% de significancia, lo cual nuevamente indica un posible ciclo con periodicidad aproximada de 12 años, ya que el segundo mínimo se presen

tó al retardo 42. Existe aún, un cuarto mínimo que se presenta para el retardo 62, con valor de -0.6561 e? cual es significativo ($\alpha = 0.05$), indicando la posible existencia de un ciclo corto con periodicidad aproximada de ocho años.

En el análisis de la sección II, se encuentra para un retardo de 23 años el primer mínimo, con una correlación de -0.0257 , la cual no tiene significancia estadística, pero es de utilidad recordarla; el primer máximo aparece al retardo 2.7, con un valor de correlación de 0.4926 , el cual es significativo al 5% e indica una posible periodicidad de 27 años aproximadamente; un segundo mínimo se presenta al retardo 33 con un valor de correlación de -0.3417 , el cual no posee significancia estadística al 5%, pero podría reflejar una periodicidad de 10 años, recordando que el primer mínimo se presentó al retardo 23.

Del análisis de la sección III, se observa el primer mínimo de correlación para un retardo de 17 años, con un valor de -0.6261 , el cual es significativo al 1%; el primer máximo se tiene para el retardo 26 con una correlación de 0.1573 , que no tiene significancia estadística al 5%; el segundo mínimo está en el retardo 28, con correlación de -0.0453 que tampoco tiene significancia estadística al 5%, en cambio transcurrieron 11 años para la repetición de un mínimo, por lo cual puede indicar alguna periodicidad; el segundo máximo ocurre en el retardo 30, con una correlación de 0.3125 , lo cual no es significativa al 5%, pero la duración entre máximos fue de cuatro años, lo que podría revelar algún ciclo corto.

Por último, en la sección IV, se observa el primer mínimo en el retardo 18, con una correlación de -0.7521 que es altamente significativa ($\alpha = 0.01$); existe un ligero incremento en la correlación para el retardo 22, con un valor de -0.4879 que no es significativo ($\alpha = 0.05$); el segundo mínimo se alcanza en el retardo 23, con un valor de -0.5158 que también carece de significancia estadística al 5%, pero que puede indicar una periodicidad corta de algún ciclo, si se recuerda que el primer mínimo se encontró en el retardo 18.

Haciendo un resumen de la ZONA III, se puede concluir que existe fundamento para pensar en la existencia de un primer ciclo con periodicidad aproximada de cuatro o cinco años, según lo indican las secciones III y IV; de un segundo ciclo con periodicidad aproximada de 10 a 12 años, según lo indican las secciones I, II y III; además, un tercer ciclo con período aproximado de 17 a 22 años, según lo indican las secciones I y IV.

Relación entre actividad solar y sistemas climáticos terrestres

Existen casos convincentes de la relación entre actividad solar y sistemas climáticos terrestres, ya que una evidencia circunstancial es la alta correlación entre el ciclo de manchas solares y las fluctuaciones climáticas en una área geográfica (Roberts & Lansford, 1979). Ejemplo de estas evidencias son las sequías periódicas que han ocurrido en las grandes llanuras de los Estados Unidos cada 20 ó 22 años y al menos nueve de ellas se registran en la historia de la región.

El climatólogo J. Murray Mitchell que contribuyó bastante al trabajo para establecer la tendencia real al calentamiento global en la primera mitad de este siglo y al subsecuente enfriamiento del hemisferio norte, cree que las sequías en el oeste de los Estados Unidos pueden estar correlacionadas con el ciclo doble de las manchas solares. Recientemente, Mitchell colaboró con Charles Stockton de la Universidad de Arizona en un estudio que indica que las sequías en el oeste de los Estados Unidos pueden ser correlacionadas con el ciclo doble de las manchas solares cubriendo un gran período de tiempo. Stockton ha analizado anillos arbóreos de 40 lugares del oeste de Estados Unidos para reconstruir clima hacia el pasado. Mitchell, quien analizó cuidadosamente los datos de Stockton concluye diciendo que estos datos apoyan la idea de que las sequías en el oeste se presentan con un ciclo aproximado de 22 años que corresponde al ciclo doble de las manchas solares. Sin embargo, un mecanismo físico para establecer causa y efecto en esta correlación no ha sido aún identificado.

No obstante, muchos científicos físicos están de acuerdo en que existe evidencia de que algunos fenómenos climáticos están vinculados con la actividad solar. Como otras teorías de variación climática, ésta merece ser examinada en forma rigurosa y sistemática, esforzándose por probar su validez. (Roberts & Lansford, 1979).

De los resultados obtenidos (tabla 7) al aplicar el modelo de componentes periódicas a las series de precipitación media anual por zonas, expuesto en el capítulo de metodología, se observa que existe una perio

dicidad media para las tres zonas de 11.51 años, lo que concuerda evidentemente con la periodicidad principal encontrada en las manchas solares por Waldmeir (1961) que fue de 11.13 años, así mismo, se encuentra otra periodicidad media en las zonas de estudio de 20.27 años que es cercana a la periodicidad del ciclo doble de las manchas solares (22 años), siendo además las periodicidades mayores encontradas en estas zonas, múltiplos aproximados de estas dos periodicidades que son ampliamente reconocidas en el ámbito científico. Esto fortalece lo establecido por otros investigadores en el sentido de que los parámetros ambientales están fuertemente relacionados con la actividad solar.

Este descubrimiento es de suma importancia porque repercute al menos para la Península de Baja California (México) en áreas tan relevantes como pueden ser: Economía, Planificación, Agricultura, Ganadería, Ciencias Marinas, etc. En esta última, el conocimiento de tales periodicidades es trascendente, ya que podría explicar a través de la variación climática de la región posibles fluctuaciones presentadas en la abundancia de algún recurso y más aún en la racionalización de su explotación.

Si la actividad solar es realmente la que gobierna el patrón de variación climático en esta área geográfica cabría esperar que las fluctuaciones en abundancia de las poblaciones de especies marinas de esta región se identificaran con periodicidades presentadas por la actividad del sol. Evidencia de esta relación se presenta en estudios preliminares sobre la abundancia de sardina estimada a partir de las capturas por unidad de esfuerzo de la pesquería del Noroeste de México, la cual

presenta una fluctuación con periodicidad aparente de cinco años (Informe final del proyecto sardina de CICIMAR ante la SEPES, 1983) que se identifica con la mitad del período del ciclo principal de las manchas solares. Debido a información no publicada sobre esta pesquería, es imposible por el momento detectar la existencia de periodicidades mayores.

Pronóstico

Una vez que se estableció el modelo ajustado a cinco componentes periódicas se analizó éste para cada zona, asegurando con esto que el modelo empleado para describir la serie de precipitación media anual tiene una alta concordancia con la dispersión de los datos. Observándose por ejemplo que en la ZONA 1 existe un pico máximo en la precipitación media anual para el año de 1939, el cual se contempla en los valores calculados a través del modelo para el mismo año, los mínimos más notables en precipitación media anual para esta zona se presentan en los años de 1922 y 1967 los cuales también aparecen en los valores calculados para esos años por el modelo (ver tabla 8).

En la ZONA II se encontró que los picos máximos de precipitación media anual observados están en los años de 1921, 1936 y 1958 lo que concuerda con los picos máximos de los valores calculados a través del modelo de periodicidad múltiple ajustado para esta zona. Los mínimos más notables de la variable precipitación media anual se presentan en los años de 1911, 1929, 1946 y 1973, y al aplicar el modelo de periodicidad múltiple éste los sitúa en los años de 1911, 1928, 1950 y 1972 respectivamente (ver tabla 9).

Para la ZONA III, los picos máximos de precipitación media anual se observan; en los años de 1923 y 1940. El modelo de periodicidad múltiple ajustado para esta zona predice valores máximos en los años de 1921 y 1943. Mientras que los valores mínimos observados más notables de la variable precipitación media anual en la zona se encuentran en los años de 1933 y 1952, el modelo predice valores mínimos para esta variable en los años de 1932 y 1951 (ver tabla 10).

Al utilizar el modelo de componentes periódicas con las cinco frecuencias detectadas en cada zona para el pronóstico a ± 100 años de la variable precipitación media anual, se encuentra que en la ZONA I los picos máximos de la variable se encuentran en los años de 1847, 1890, 1939, 1987 y 2048, mientras que los mínimos más notables de esta variable se observan en los años de 1814, 1875, 1923, 1967, 2015 y 2063, siendo los más drásticos en los años de 1814, 1923 y 2015 (ver tabla 11 y gráfica 10).

En el pronóstico de la ZONA II construido con el mismo modelo para las frecuencias de la zona, se encuentra que los máximos más notables de la variable precipitación media anual se localizan en los años de 1882, 1958 y 2015, mientras que los mínimos más notables se encuentran en los años de 1834, 1911, 1988 y 2066, siendo los más drásticos de éstos en los años de 1911 y 1988 (ver tabla 12 y gráfica 11).

Para la ZONA III el pronóstico llevado a cabo con el modelo de componentes periódicas para las frecuencias detectadas en esta zona, establece que los máximos más notables de la variable precipitación media

se encuentran en los años de 1886, 1921, 1980 y 2054, mientras que los valores mínimos más notables de la variable se observan en los años de 1818, 1893, 1951 y 2007, donde los más drásticos se presentan en 1893 y 2007 (ver tabla 13 y gráfica 12).

Después del pronóstico para cada zona, se contempló la idea de poder relacionar los patrones de variación de la variable precipitación media anual entre zonas. Debido a que cada zona tiene un patrón de variación diferente y que éstos están representadas por varias componentes periódicas que dependen de frecuencias, fases y amplitudes diferentes aunque para las periodicidades menores haya gran similitud, es prácticamente imposible o al menos va más allá del análisis contemplado en este trabajo, encontrar con precisión satisfactoria una relación estrecha entre los patrones de variación en las zonas de estudio, para la variable considerada. Sin embargo, haciendo un esfuerzo por disipar esta inquietud se hizo el análisis de correlación cruzada desplazada entre las ZONAS 1 y II, entre las ZONAS 1 y III y entre las ZONAS II y III.

Del análisis hecho en las correlaciones cruzadas entre la ZONA 1 y ZONA II se observa que cuando las series están parejas se obtiene una correlación de 0.4009 la cual es altamente significativa ($\alpha = 0.01$). Recorriendo en forma relativa las dos series, una con respecto a la otra, tratando de encontrar un mejor acoplamiento entre éstas, se observa que cuando la serie de la ZONA 1 adelanta a la serie de la ZONA II en 15 años, su coincidencia se incrementa alcanzando una correlación de 0.6049 la cual también es altamente significativa ($\alpha = 0.01$), lo que sugiere va

riaciones similares en las dos zonas con una diferencia en el tiempo de 15 años. Así por ejemplo, un incremento o decremento de la precipitación media anual en la ZONA II refleja variaciones similares en la ZONA 1, 15 años después (ver tabla 14 y gráficas 7 y 8).

Del análisis llevado a cabo a través del modelo de correlación cruzada desplazada entre las ZOMAS 1 y III se encuentra una correlación de -0.7366 cuando las series están parejas en el tiempo, la cual es altamente significativa ($\alpha = 0.01$). Trasladando las series una con respecto a otra se logra un mejor acoplamiento inverso de ellas cuando la serie de la ZONA 1 tiene un retardo de 15 años con respecto de la ZONA III, el acoplamiento inverso significa que un incremento o decremento de la variable con el tiempo en una zona corresponde a un decremento o incremento respectivamente de la variable con el tiempo en la otra zona y viceversa. Esto lo revela la correlación existente para este retardo con un valor de -0.8055 que es altamente significativo ($\alpha = 0.01$). Lo anterior sugiere que un período seco en la ZONA 1 se refleja como un período húmedo en la ZONA III, 15 años después (ver tabla 15 y gráficas 7 y 9).

Al analizar las series de las ZONAS II y III a través del mismo modelo se encuentra una correlación para las series parejas de -0.3859 el cual es altamente significativo ($\alpha = 0.01$) para el número de años correlacionados. Al desplazar las series en el tiempo una con respecto de otra se observa que para un retardo de 11 años de la serie de la ZONA II con respecto de la serie de la ZONA III se alcanza un máximo de correlación de -0.8046, lo que significa que para este retardo se presen-

tó un acoplamiento inverso máximo y que su correlación tiene significancia estadística al 1%. Este análisis nos conduce a creer que por término medio períodos secos y húmedos de la ZONA II reflejan períodos húmedos y secos respectivamente en la ZONA III, 11 años después (ver tabla 16 y gráficas 8 y 9).

En resumen, de estos análisis se observa que de la ZONA II se puede inferir sobre la ZONA I y de las ZONAS I y II se infiere sobre la ZONA III, por lo cual, el patrón de variación presentado por la variable precipitación media anual en la ZONA II, es de suma importancia si se quiere considerar como predictor en el tiempo de los patrones de variación de la variable en las ZONAS I y III.

Reconstrucción hacia el pasado del índice anual de precipitación

Con la idea de poder reconstruir la cronología maestra de precipitación anual por zonas hacia el pasado apoyados en información dendrocronológica, se discuten los resultados obtenidos en cada una de estas zonas, sabiendo que una buena reconstrucción amplía el dominio (tiempo) de la función, incrementando la precisión de la estimación del período de oscilación que presenta el patrón de variación estacional. Además, una reconstrucción del clima hacia el pasado es de gran utilidad si a través de ella, se puede dar explicación a fenómenos climáticos e inherentes que ocurrieron y que probablemente ocurran en el futuro y para los cuales se pueda estar prevenido.

ZONA I

En esta cronología maestra de precipitación anual los valores máximos se encuentran en los años de 1923, 1927, 1929, 1935, 1939, 1944, 1949, 1955, 1959, 1965 y 1973 con una separación media entre ellos de 5.0 años, lo que sugiere la periodicidad de esta variación estacional. Esta periodicidad indica a corta escala que aproximadamente cada 5 años la variable precipitación seguirá un patrón de variación similar que contiene una temporada húmeda (varios años) y una temporada seca (varios años) con respecto a la precipitación esperada. Los valores más sobresalientes en los máximos del índice para esta zona se observan en los años de 1923, 1935 y 1949 que corresponden a años excepcionalmente lluviosos con respecto a lo esperado. El análisis de autocorrelación desplazada (ver tabla 20 y gráfica 16) indica que existe una periodicidad la cual se refleja por un mayor o menor coeficiente de correlación cuando la serie es desplazada temporalmente en sí misma. Con una estimación gruesa de la posible periodicidad, hecha a través de la relación del número de años desplazados (64) al número de intervalos entre máximos de correlación (11), se obtiene 5.82 años aproximadamente.

Esta última estimación está más cercana a la periodicidad de 6.09 años encontrada por el análisis espectral para esta zona. Un año extremadamente seco lo fue 1921 ya que su índice tiene un valor inferior al 50%.

ZONA II

Para la cronología maestra de precipitación anual de esta zona se observan los índices máximos en los años de 1910, 1921, 1924, 1929,

1931, 1935, 1940, 1946, 1949, 1954, 1959, 1962, 1967 y 1973, con un tiempo medio entre ellos de 4.69 años sugiriéndose una periodicidad de esta variación estacional. Los años extremadamente lluviosos con respecto a lo esperado fueron 1906, 1935, 1967 y 1973, mientras que los años extremadamente secos con respecto a lo esperado fueron 1912, 1913, 1933, 1942 y 1964. Del análisis de autocorrelación desplazada para esta zona (ver tabla 21 y gráfica 17) se encuentra que la periodicidad existente está reflejada por máximos y mínimos de correlación calculados al deslizar la serie sobre sí misma. Una estimación de la periodicidad es la relación del número de años desplazados al número de intervalos entre máximos de correlación, para esta zona el 13avo. máximo se obtiene para un retardo de 68 años, por lo tanto la estimación es $68/12 = 5.67$ años que está próximo a la periodicidad encontrada por análisis espectral que fue de 5.49 años. Esto indica que para esta zona los patrones de variación estacional presentan un período alrededor de 5.5 años, en donde se encuentran temporadas húmedas y secas.

ZONA III

Analizando la cronología maestra de precipitación anual para esta zona se encuentran los máximos de los índices de precipitación en los años de 1902, 1906, 1909, 1915, 1920, 1927, 1932, 1937, 1941, 1944, 1952, 1958, 1966 y 1970, con una separación media en el tiempo de 5.23 años, lo cual refleja una periodicidad. Los años con precipitación extremadamente alta con respecto a lo esperado fueron 1906, 1952, 1958 y 1966, mientras que los más secos, relativamente hablando se presentaron en los años de 1904, 1929 y 1956. La autocorrelación desplazada de la cronología maestra de la zona (ver tabla 22 y gráfica 18) permite la

estimación de la periodicidad con la relación de número de años desplazados al número de intervalos entre máximos de correlación al retardar la cronología en sí misma, ésto es, $68/14 = 4.86$ años, que es muy próxima a la periodicidad estimada por análisis espectral la cual fue de 4.97 años, lo cual se interpreta como el número de años que deben transcurrir a partir de un momento dado para que el patrón de variación estacional presente características similares.

Como resumen de la discusión de estas tres zonas, se puede decir que con el análisis de autocorrelación se detecta un período promedio de 5.45 años en esta variación estacional, que es evidentemente el período promedio de menor magnitud de las zonas ($T = 5.52$ años), encontrado con el análisis de Fourier, en donde se consideró que esta periodicidad era debida a la variación aleatoria o ruido de la serie de tiempo.

Una vez más, este resultado es de suma importancia y merece ser considerado por diversas áreas que de una u otra forma dependan de parámetros climáticos para una mejor planeación de sus actividades. Como un ejemplo de la identificación de esta periodicidad con fenómenos biológicos marinos, tenemos la periodicidad presentada por la abundancia de sardina en el noroeste de México citada con anterioridad. Esto no indica que se estén identificando en el sistema climático fenómenos de causa y efecto, sino simplemente se establece la relación circunstancial.

Como una de las metas planteadas en este trabajo fue establecer la

posible relación de 70s patrones de precipitación presentados en la Península de Baja California (México) con información recabada del crecimiento de árboles en el Estado de Baja California (México) y Sur de California (E.U.), se discuten a continuación los resultados obtenidos.

De? análisis de correlación cruzada desplazada entre las cronologías maestras de precipitación por zonas y las nueve dendrocronologías maestras se puede deducir que realmente la única zona que mantiene una relación estrecha con algunas dendrocronologías maestras es la ZONA III y además las dendrocronologías maestras de? Sur de California (E.U.) a excepción de White Mountains, no manifiestan la evidencia suficiente de ta? relación. Esto era realmente esperado ya que la ZONA I y ZONA II tienen diferentes patrones de variación en su precipitación lo cual no está lógicamente reflejado en las dendrocronologías que fueron obtenidas en sitios de la ZONA III. Por tales motivos se decidió seguir adelante con la investigación, considerando en lo sucesivo solamente las dendrocronologías obtenidas dentro de la ZONA III. Con la idea de verificar la dependencia entre estas dendrocronologías maestras se llevó a cabo un análisis de correlación cruzada entre ellas, encontrándose correlaciones altas y a la vez significativas al 1% como se muestra en el capítulo de resultados, por lo cual se puede decir que son altamente dependientes y ser representadas por una dendrocronología maestra media. En la construcción de ésta se despreció la dendrocronología maestra de Pond, BC debido a que ella termina en el año de 1960, mientras que las otras cubren hasta 1971, por lo tanto para no perder 11 años de información dendrocronológica que después repercute en una pobre significación estadística, a? relacionar las cronologías

maestras de precipitación con la dendrocronología maestra media, se decidió no considerarla en este estudio.

Antes de trabajar con la dendrocronología maestra media se planteó la posibilidad de que las cronologías maestras de precipitación por zonas, se pudieran expresar como una combinación lineal de las dendrocronologías maestras existentes de la ZONA III, a través del modelo de regresión lineal múltiple, encontrándose que el hecho de considerarlas como variables independientes en el modelo, no incrementa la intensidad de la relación que se encuentra con el modelo de regresión lineal simple, aplicado a cada una de ellas con respecto a las cronologías maestras de precipitación por zonas, esto demuestra la dependencia que existe entre las dendrocronologías maestras y por lo tanto no se pueden considerar cada una de ellas variables independientes en el modelo de regresión lineal múltiple.

Se hizo un análisis de la dendrocronología maestra media observándose que ésta presenta 57 máximos en 304 años de información, por lo que una estimación gruesa de la periodicidad sería $T = 304/56 = 5.43$ años que es un valor esperado. Esta dendrocronología maestra media también presenta los años extremadamente lluviosos con respecto a lo esperado que fueron 1747, 1749, 1967, 1968 y 1970, mostrándose que los años de drástica sequía con respecto a lo esperado fueron 1665, 1670, 1676, 1703, 1735, 1752, 1753, 1754, 1763, 1782, 1820, 1843, 1845, 1847, 1879, 1900, 1929, 1934, 1948, 1956, 1961, y 1964. (tabla 23, gráfica 19).

El análisis de la autocorrelación para la serie de la dendrocrono-

logía maestra media muestra que en 41 veces la autocorrelación se incrementa, cuando la serie es retardada con respecto a si misma desde 1 hasta 306 años, lo que sugiere la existencia de una periodicidad alrededor de 7.65 años (tabla 24, gráfica 20).

Como una de las metas de este trabajo fue reconstruir hacia el pasado el parámetro precipitación con la información disponible se decidió considerar la dendrocronología maestra media como base fundamental para tal reconstrucción, considerando como variable dependiente los valores encontrados en la cronología maestra de precipitación anual y como variables independientes los valores de la dendrocronología maestra media sin retardo, con retardo y con adelanto en el tiempo, ya que estas variables poseen gran información hacia el pasado y deben ser tomadas en cuenta para tal reconstrucción.

Por la misma periodicidad de la variación estacional que aparentemente se encuentra entre cinco y seis años, se puede pensar en que la precipitación representada por la cronología maestra en algún año dado influye substancialmente en un radio temporal medio aproximado de dos años.

Debido a lo anterior se seleccionaron como variables independientes la dendrocronología maestra media sin retardo, con un año de retardo, con dos años de retardo, con un año de adelanto y con dos años de adelanto.

Para poder llevar a cabo la reconstrucción hacia el pasado de la

cronología maestra de precipitación por zonas se procuró a través del modelo de regresión múltiple encontrar hiperplanos que explicaron significativamente la dispersión presentada por la información. De aquí, que las reconstrucciones de la ZONA I y ZONA II no se hayan llevado a cabo, ya que se obtuvieron coeficientes de correlación múltiple muy bajas y sin significancia estadística (apéndice V).

En la ZONA III que si presentó un coeficiente de correlación ($r=0.64$) altamente significativo ($\alpha =0.005$), se aplicó la ecuación de regresión múltiple como predictor de la cronología maestra de precipitación al pasado, construyéndose ésta hasta el año de 1666.

Analizando la cronología maestra de precipitación reconstruida se observa que del año de 1667 al año de 1963 presenta 66 máximos, por lo tanto una estimación de la periodicidad de esta serie es $\hat{T} = 296/65 = 4.55$ años que es un valor muy próximo al encontrado en la variación aleatoria (4.97) del modelo de componentes periódicas para esta zona, hecho con anterioridad.

El análisis de autocorrelación para la serie reconstruida revela que existen 64 máximos de correlación cuando la serie es desplazada desde 0 a 300 años en sí misma, lo que hace suponer que la periodicidad reflejada por este análisis es alrededor de $\hat{T} = 300/63 = 4.76$ años, que nuevamente el valor es cercano a 4.97 encontrado para esta zona con el análisis de Fourier.

Debido a que la cronología maestra de precipitación reconstruida

muestra una variación estacional (que es aleatoria en el análisis de Fourier) en donde ha sido excluida la tendencia y ciclos mayores o iguales a 10 años según el promedio móvil, no se puede aplicar el modelo de componentes periódicas para su pronóstico, ya que de hacerlo así, se estaría tratando de pronosticar la variación aleatoria (o ruido) la cual por construcción no es sujeta a pronóstico.

Se puede resumir el estudio de esta reconstrucción diciendo que existe una variación estacional que fue detectada como ruido en el análisis de Fourier y que tiene una periodicidad que oscila entre 4.4 y 5.1 años con el 95% de confianza, y que está compuesta por años secos y húmedos con respecto de lo esperado.

Este resultado es tan valioso dentro de la investigación en ciencias del mar, entre otras, que debe considerarse en el estudio de poblaciones de especies marinas, puesto que este ciclo probablemente sea reflejado en la fluctuación de la abundancia, de especies distribuidas en áreas geográficas vecinas a las costas de la Península de Baja California. Si esta relación existe y se pasa por alto, se puede llegar a conclusiones engañosas. Con investigaciones venideras se podrá constatar en poco tiempo, si existe o no, la evidencia suficiente de tal relación.

CONCLUSIONES

1. Los patrones de variación en precipitación de las diferentes localidades en la Península de Baja California (México), no son homogéneos.
2. Existen tres grandes zonas en la Península de Baja California (México) en donde dentro de cada una de ellas los patrones de variación en precipitación de las diferentes localidades son homogéneos.
3. Los patrones de variación de la precipitación media anual en cada una de las zonas de la Península de Baja California (México) quedan representados significativamente por un modelo de cinco componentes periódicas.
4. Las periodicidades en los patrones de variación de la precipitación media anual en cada una de las zonas de la Península de Baja California (México) están identificadas con las periodicidades presentadas en el patrón de aparición de las manchas solares.
5. El patrón de variación en la precipitación media anual de la ZONA II es un predictor en el tiempo de los patrones de variación del mismo parámetro para las ZONAS I y III con alta significancia estadística.

6. El pronóstico del patrón de variación en la precipitación media anual para las diferentes zonas de la Península de Baja California (México) es altamente significativo.

7. El patrón de variación presentado por las dendrocronologías maestras de la ZONA III reflejan con una alta significación estadística las variaciones en el patrón de precipitación de la zona. Por lo tanto, existe la evidencia suficiente de la intensa relación entre estas dos fuentes de información.

8. La reconstrucción hacia el pasado del patrón de variación estacional representada por los índices de precipitación en la ZONA III, es altamente significativa. Es decir la precipitación en un año dado es reflejada por lo ancho de los anillos arbóreos correspondientes a + 2 años del año considerado.

9. La variación estacional de la ZONA III establece la existencia de años húmedos y años secos con respecto de la precipitación esperada con una periodicidad entre 4.4 y 5.1 años que es estadísticamente significativa.

10. Tanto el análisis de Fourier como la reconstrucción hacia el pasado llevado a cabo en esta investigación explican significativamente a nivel macroclimático las variaciones del parámetro precipitación en la Península de Baja California, México.

BIBLIOGRAFIA

- Blasing, T. J. y Fritts, H. C. (1975). Reconstructing past climatic anomalies in the North Pacific and Western North America from tree Ring data. *Quaternary Research* 6, pp. 563-579.
- Bloomfield, P. (1976). *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction.*, Cap. I, II, V., John Wiley & Sons, New York., pp. 1-41, 94-96.
- Brent, R. (1972). *Algorithms for minimization without derivatives.*, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.
- Clark, N. E., Blasing, T. J. y Fritts, H. C. (1975). Influence of interannual climatic fluctuations of biological systems. *Nature*, vol. 256, No. 5515, pp. 302-305.
- Cropper, J. P. y Fritts, H. C. (1981). Tree-Ring width chronologies from the North American Arctic. *Arctic and Alpine Research*, vol. 13, No. 3, pp. 245-260.
- Davies, R. G. (1971). *Computer Programming in Quantitative Biology.*, Cap. VII., Academic Press London, New York., pp. 198-207.
- Douglas, A. V. (1973). Past air-sea interactions off southern California as revealed by tree-ring chronologies, M. A. thesis, Univ. Arizona, Tucson, 98 páginas.
- Douglas, A. V. (1980). Geophysical estimates of sea-surface temperatures off western north America since 1671., *CalCOFI, Reports*. Vol. XXI., pp. 102-112.
- Ferguson, C. W. (1968). Bristlecone Pine: Science and Esthetics. *Science* vol. 159, No. 3817, pp. 833-846.
- Ferguson, C. W. (1970). *Concepts and techniques of Dendrochronology.* University of California Press.
- Fritts, H. C. (1965). *Dendrochronology.* Laboratory of Tree-Ring Research University of Arizona.
- Fritts, H. C. (1967). Growth rings of trees: A physiological basis for their correlation with climate. *American association for the advancement of science.*
- Fritts, H. C., Blasing, T. J., Hayden, B. P. y Kutzbach, J. E. (1971). Multivariate Techniques for specifying Tree-Growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 10, No. 5, pp. 845-864.

- Fritts, H. C. y Shatz, D. J. (1975). Selecting and characterizing tree-ring chronologies for dendroclimatic analysis. *Tree-Ring Bulletin*, vol. 35.
- Fritts, H. C. (1974). Relationships of ring widths in Arid-Site conifers to variations in monthly temperature and precipitation. *Ecological Monographs*, vol. 44, No. 4, pp. 411-440.
- Fritts, H. C., Lofgren, G. R. y Gordon, G. A. (1979). Variations in climate since 1602 as reconstructed from tree rings. *Quaternary Research* 32, pp. 18-46.
- Fritts, H. C. (1982). Spatial climatic reconstructions from Tree-Ring analysis. Academic press.
- Hastings, J. R. y Turner R. M. (1965). Seasonal precipitation regimes in Baja California, México. *Geografiska Annaler*, Vol. 47, Ser. A 1965 .4: 204-223.
- Hecht, A. D. (1979). Paleoclimatic Research: Status and Opportunities. *Quaternary Research* 12, pp. 6-17.
- Holmes, R. L., Stockton, C. W. y LaMarche, V. C. (1979). Extension of river flow records in Argentina from long tree-ring chronologies. *Water Resources Bulletin*, vol. 15, No. 4.
- LaMarche, V. C. y Fritts, H. C. (1971). Anomaly patterns of climate over the Western United States, 1700-1930, derived from principal component analysis of Tree-Ring data. *Monthly Weather Review*, vol. 99, No. 2, pp. 138-142.
- LaMarche, v. c. (1974). Paleoclimatic inferences from long Tree-Ring records. *Science*, vol. 183, pp. 1043-1048.
- LaMarche, v. c. (1975). Climatic clues from tree rings. *New Scientist*, vol. 66, No. 943.
- LaMarche, V. C. (1978). Tree-Ring evidence of past climatic variability *Nature*, vol. 276, No. 5686, pp. 334-338.
- Makridakis, S. y Wheelwright, S. C. (1978). *Forecasting, Methods and Applications.*, cap. III, IV., John Wiley & Sons, New York., pp. 44-103.
- Makridakis, S. y Wheelwright, S. C. (1978). *Interactive forecasting.*, cap. XV-XVI., Holden Day Inc., San Francisco., pp. 198-225.
- McEwen, G. F. (1925). Ocean temperatures and seasonal rainfall in southern California. *Mon. Wea. Rev.* 53(11); pp. 483-494.
- Meko, D. M., Stockton, C. W. y Boggess, W. R. (1980). A tree-Ring reconstruction of drought in Southern California. *Water Resources Bulletin*, vol. 16, No. 4.

- Mosiño, P. A. y García E. (Memoria 1966-1967). Los climas de la Baja California. Decenio hidrológico internacional: 29-56.
- Nikolskii, V. G. (1969). Theory of Fish Population Dynamics. Oliver & Boyd. Edinburgh. pp. 217-225.
- Odum, E. P. (1972). Ecología., Nueva Editorial Interamericana., México., pp. 116-117, 128-152, 208-215.
- Roberts, W. O. y Lansford, H. (1979). The Climate Mandate. W.H. Freeman and Company, San Francisco, Calif., pp. 23-81.
- Snedecor, G. W. y Cochran, G. W. (1978). Métodos Estadísticos., C.E.C.S.A., México.
- Stokes, M. A. y Smiley, T. L. (1968). An Introduction to: TREE-RING DATING., The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Waldmeier, M. (1961). The Sunspot-Activity in the Years 1610-1960. Zurich: Schulthess.

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS
I. P. N.
BIBLIOTECA